ELEMENTI

DI

MECCANICA

ESPOSTI POPOLARMENTE

DA

L. BROTHIER

con 31 incisioni intercalate nel testo.

MILANO, VIA DURINI, 29.

BIBLIOTECA UTILE

(XXIII)

ELEMENTI DI MECCANICA

ELEMENTI

DI

MECCANICA

ESPOSTI POPOLARMENTE

DA

L. BROTHIER

MILANO
EDITORI DELLA BIBLIOTECA UTILE
1865

suno se ne ingerisca. Eppure qualcuno v'ebbe ingerenza. Il qualcuno è la Terra. I corpi sono per loro natura molto generosi; non ne incontrano mai un altro senza cedergli una parte del moto che possedono. Se la vostra palla ne trova un'altra sul suo cammino, non mancherà di metterla in movimento, ma a scapito della propria velocità, poichè perderà precisamente tanto moto quanto è quello che ha ceduto. Ora, quand'anche la vostra palla non ne abbia incontrata un' altra, ha però incontrati lungo il suo cammino mille, diecimila, centomila granelli di sabbia, ed un milione, due milioni, cento milioni di particelle d'aria, ai quali granelli, alle quali particelle comunicò successivamente una piccola parte del proprio moto e successivamente ne comunicò tanto, che in fin dei conti non ne rimase più nulla per lei, ed ecco perchè si fermò: in caso diverso si muoverebbe ancora e continuerebbe a muoversi eternamente.

Quando un corpo è in moto e nulla gli faccia ostacolo, egli non cessa mai di muoversi; osservate la Terra e gli altri pianeti: ruotano intorno al sole senza che il loro moto si arresti nè tampoco si rallenti, almeno in maniera apprezzabile. E perchè? perchè nulla incontrano sulla lor via, perchè gli spazii celesti nei quali si muovono son vuoti, o per meglio dire son ripieni di qualche fluido tanto poco resistente che si può considerarlo siccome un corpo non capace di sottrarre agli altri una parte del loro movimento. I pianeti han risolto il famoso problema del *moto perpetuo,* ma vedete un po'a qual patto: al patto di far niente, poichè non mettono in moto nessun altro corpo.

Se adunque ci fosse possibile costruire una macchina che messa una volta in movimento continuasse ad andare senza mai fermarsi, avremmo tuttavia completamente perduto il nostro tempo e la nostra fatica, poichè questa mac-

china a nulla potrebbe servire. Se facesse qualche cosa, se lavorasse, dovrebbe necessariamente mettere qualche cosa in movimento, fosse pure un sottilissimo filo soltanto. Essa comunicherebbe successivamente una parte del suo moto alle diverse parti del filo, ma a forza di comunicarne, finirebbe col non possederne più e per conseguenza dovrebbe fermarsi.

La ricerca del moto perpetuo non è assurda solo perchè ha per mira un risultato inutile, ma benanco perchè ha per oggetto un'impossibilità. Siamo pure indulgenti con chi crede avere inventata questa macchina meravigliosa; costui però non supporrà certamente che la sua macchina possa rimanere sospesa senza toccar nulla fra cielo e terra. Ammettiamo pure che le parti in movimento della macchina sieno sostenute in un sol punto da un appoggio; e queste parti mobili sieno pure costrutte coll'acciaio meglio levigato, e l'appoggio sia pure del bronzo più duro: ma l'attrito vi sarà, piccolissimo se volete, ma vi sarà. E cos'è l'attrito? quale è il suo effetto? non ha forse l'effetto di logorare le parti che si toccano, vale a dire di staccarne poco a poco, sotto forma di polvere impalpabile, dei frammenti piccolissimi? Ma dal momento che quei piccolissimi ed impercettibili frammenti furono staccati, convien pur dire che furono messi in movimento. Ora un corpo non ne mette un altro in movimento senza perdere una parte del movimento che possiede; quindi la famosa macchina perdendo ad ogni istante una certa porzione di movimento dovrà finire coll'arrestarsi. Non dite che gli attriti scompariranno con l'interposizione dell'unto, del grasso; se in tal caso non saranno più messe in movimento le particelle di acciaio o di bronzo, lo saranno invece quelle d'unto, ed il risultato finale sarà ancora lo stesso; forse ci vorrà un po' più di tempo, ma senza dubbio verrà un momento in cui la macchina si fermerà.

PREFAZIONE

In un secolo che vede continuamente svilupparsi nuovi progressi nell'ordine industriale, in un secolo in cui ad ogni piè sospinto si incontra una nuova macchina, lo studio della meccanica dovrà necessariamente far parte anche degli insegnamenti più elementari.

Gli operai delle grandi città possono, assistendo alle lezioni festive e serali, iniziarsi nei segreti della meccanica, ma queste lezioni non si danno dappertutto e quindi non a tutti gli operai è concesso approfittarne. Anzi la gran maggioranza è condannata ad ignorare forse per tutta la vita il come ed il perchè dei lavori che giornalmente eseguiscono. Ma se le lezioni possono essere ascoltate soltanto da un limitato numero di uditori, i libri, penetrando anche nei più remoti villaggi, possono avere un numero indefinito di lettori. Per questo motivo appunto abbiam creduto utile lo scrivere un libriccino destinato a supplire in parte alle lezioni elementari di meccanica da potersi dare in mano agli operai.

È nostro desiderio che non un operaio, non un garzone, non uno scolaretto sia costretto a rigettare questo libro per la difficoltà di non comprenderlo; perciò non useremo le formule cogli x e cogli y, e se ci riuscirà indispensabile fare qualche calcolo semplicissimo, lo faremo in guisa da non richiedere cognizioni superiori alle quattro operazioni d'aritmetica; non impiegheremo parole estranee al linguaggio volgare senza prima spiegarne bene il significato,

Si poteva semplificare d'assai il nostro lavoro limitandoci ad enunciare le leggi della meccanica senza appoggiarle con dimostrazioni; si poteva limitarsi alla esposizione dei fatti senza spiegarla con ragionamenti; ma a chiedere ai nostri lettori di crederci sulla parola, ci parrebbe far loro un insulto. Per troppo tempo si volle seguire questo metodo facile, per troppo tempo si volle dal popolo che credesse ciecamente; noi invece pensiamo che valga meglio dirgli: ragiona.

Abbiamo diviso in due parti il nostro lavoro: la prima tratterà dei principii fondamentali della scienza: la seconda, delle loro applicazioni.

Sappiamo che quest'ultima, in cui descriveremo alcune macchine, ecciterà maggiormente la curiosità di qualcuno dei nostri lettori; dobbiamo però prevenirli che se trascurano lo studio della prima parte, nulla comprenderanno di ciò che più bramano conoscere.

Benchè scritto particolarmente per gli operai e pei fanciulli che frequentano le scuole elementari, questo libro aspira ad esser letto pure da altri: ignoranti ve ne sono anche fuori delle officine.

Le società ne son piene: tanti e tanti hanno una pompa che funziona nel loro giardino, e non sanno in qual modo serva a sollevare l'acqua; tanti altri salgono in vagone senza neppure immaginarsi com'è che la locomotiva fischia, sputa, sternuta e trascina il convoglio.

Siccome la nostra ambizione si limita a un corso di semplici conversazioni, così non si dovrà esigere da noi un andamento molto metodico. Non potremo dire intorno alla bella scienza di cui siamo per occuparci tutto ciò che vi sarebbe a dire, ma soltanto ciò che sarebbe imperdonabile ad ignorare. Non promettiamo di riuscir dilettevoli: faremo però ogni sforzo per non riuscire noiosi.

Ciò premesso e senz'altri preamboli, entriamo in materia.

PARTE PRIMA

PRINCIPII FONDAMENTALI DELLA MECCANICA

CAPITOLO PRIMO.

I Corpi e le Forze.

Gli esseri che si riscontrano nella natura possono agire o sopra sè stessi o gli uni sugli altri.

Le azioni prodotte dagli esseri sono di parecchie specie: il pensiero è un'azione, la volontà è un'azione, il moto è un'azione. Noi ora ci occuperemo soltanto di quest'ultima specie di azioni.

Posso alzare od abbassare il braccio, posso mettere i miei organi in movimento: posso inoltre mettere i vostri in movimento spingendovi, tirandovi presso di me, ecc.; posso mettere in movimento anche gli organi delle piante agitandone i rami, tagliandoli, lavorandoli, ecc., e quelli della Terra, raccogliendo pietre, lanciandole, ecc.

L'uomo non è il solo essere che possa fare tutte queste cose; con minor destrezza è vero, pure gli animali fanno altrettanto. Ed anche i vegetali producono movimenti: spiegano le loro gemme, fanno mostra dei loro fiori, e col mezzo delle radici attingono dalla terra e mettono quindi in movimento i succhi di cui si nutrono.

La Terra anch'essa gode delle stesse facoltà; i suoi organi sono in moto continuamente: la pioggia, i venti, le tempeste lo provano ad evidenza. I vulcani ed i terremoti mostrano a sufficienza che la terra non è addormentata; ma essa non agisce soltanto sopra i proprii organi, essa agisce anche sui nostri; attrae tutto a sè, ed è perciò che ogni cosa tende a cadere a terra; ed ha inoltre altri modi d'agire sopra di noi e sopra gli altri esseri in generale: coll'elettricità, col magnetismo, ecc.

Quanto diciamo degli animali, dei vegetali e della Terra, dobbiam pur dirlo di tutti gli astri: ci illuminano, e ciò basta a produrre movimento. Osservate un po' le piante che ornano la vostra finestra, e vedrete come si inchinano dalla parte donde viene la luce. — I grandi movimenti del mare che diconsi *maree* son dovuti all'azione combinata del sole e della luna. Ciò basta mi pare, perchè meco conveniate che neppure gli astri non sono inoperosi.

Gli esseri, considerati soltanto come cause di movimento, si chiamano *forze;* considerati invece come cose suscettibili d'esser messe in movimento, nel linguaggio della meccanica son detti *corpi.* Così le forze altro non sono che gli esseri stessi considerati come agenti; ed i corpi, sono questi stessi esseri considerati come gli oggetti di un'azione.

Voi ed io siamo forze quando si agisce, quando si fa, e corpi quando lasciam fare qualche cosa su di noi.

Sebbene, come abbiam detto, vi sieno forze animali, forze vegetali e forze siderali (ossia degli astri) pure, quando non si considera che il movimento da esse prodotto, tale distinzione diventa inutile. Se rientrando nella vostra stanza trovate un mobile in situazione diversa da quella in cui lo avevate lasciato, direte fra voi: *qualcuno* è entrato nella mia stanza. La vostra curiosità, può, è vero, andare più in là; può venirvi il desiderio di conoscere con quale scopo

quel mobile sia stato smosso, e vorrete indovinare se il *qualcuno* fu un animale, il vostro cane, ad esempio, o il vostro gatto, oppure un fanciullo, un uomo, ecc.; ma fino a tanto che si trattava di rendervi conto della causa dello spostamento, l'idea di un qualcuno bastava certamente.

Ebbene! quando si produce un movimento qualunque, possiam dire che fu causato da taluno o da taluni. In luogo d'adoperare queste parole, impiegheremo la parola *forza;* rammentatevi però che questa *forza* altro non significa che l'attività di taluno.

A che mai questo lungo preambolo? è ben chiaro che una forza è sempre la forza di qualcuno. È chiaro per voi perchè non avete altra guida che il senso comune; ma non senza motivo posso temere che, diventati più sapienti, ciò non vi paia più tanto chiaro.

Per andare rapidamente ed evitare le lunghe frasi, vi parlerò delle forze come se esistessero da sè, come se fossero alcun che di indipendente e di distinto dagli esseri. E vi dirò: la tal forza fa questo, la tal forza fa quest'altro, assolutamente come si dice il tal uomo parla, la tal donna canta. In ciò risiede un pericolo reale, poichè a poco a poco lo spirito si abitua a pigliare le parole come fossero cose, ed a considerare le forze che gli vengono presentate come agenti le une sulle altre, come se fossero altrettante potenze misteriose, o una specie di genii privi di corpo ed atti tuttavia a mettere i corpi in movimento.

Ciò potrà sembrarvi strano, eppure ciò accadde ad uomini di grande sapere. Potrei nominarvene alcuni che si ubbriacarono di scienza fino a credere che le forze abbiano creati i corpi, e più ancora che le forze abbiano creati gli esseri, o, ciò che torna lo stesso, che l'attività di un tale creò questo stesso tale. Ma troppo devieremmo dal soggetto speciale dei nostri discorsi. Ho detto quanto basta a

mettervi in guardia contro un'illusione che sarebbe peggiore dell'ignoranza.

Siccome le forze non son altro che l'attività degli esseri, così è evidente che come non ci è dato creare esseri, così del pari non possiamo creare forze. Se però non ne possiamo creare, possiamo aumentare l'energia delle già esistenti; state però in guardia; anche questo intento non si raggiunge mai senza spesa. Per aumentare la forza del mio cavallo devo dargli a mangiare l'avena. Con nulla si fa nulla: cosa anche questa che vi sembra evidente; eppure quanti non sono gli individui ben persuasi che senza spender nulla, senza consumar nulla, costruendo soltanto un ingranaggio, sarà loro possibile creare una forza che non esiste o aumentare la potenza d'una forza esistente! Errore questo dei più frequenti nelle persone poco istrutte e che accenno qui di volo, riserbandomi a combatterlo più avanti, tanto col ragionamento quanto colla esperienza.

Le forze delle quali possiamo aumentar l'energia, sempre però mediante alimenti, quando si tratti di forze animali, diconsi *forze muscolari;* le forze più particolarmente proprie al globo terrestre diconsi *forze chimiche.* Parleremo in appresso anche di queste.

Sonvi altre forze che non possiamo cangiare per nulla, che non possiamo in modo alcuno aumentare o diminuire e che siam costretti a pigliare così come sono: la gravità, ad esempio. È ben chiaro che mi è impossibile fare in modo che una palla di piombo pesi più di quanto pesa. Se aggiungo oro a quel piombo, il peso diverrà più considerevole, poichè al peso del piombo si sarà aggiunto quello dell'oro, ma il piombo peserà ancora come prima. Queste forze si indicano più particolarmente col nome di *forze fisiche.*

Non possiamo, è vero, creare nuove forze, non pos-

siamo aumentarne, o, come dicesi, svilupparne che un piccol numero; possiamo bensì utilizzarle tutte, aggiungerle in certo modo alle nostre facendole servire a nostro uso. Ora l'arte d'utilizzare le forze costituisce precisamente la *meccanica*.

I mezzi di cui servesi l'uomo conformandosi alle regole della meccanica per utilizzare le forze, sia muscolari, sia fisiche o chimiche, diconsi *macchine*. Sonvi macchine semplicissime e macchine molto complicate; ma sì le une come le altre non sono che mezzi per *utilizzare* le forze già esistenti.

Anche qui l'imperfezione del linguaggio può condurre alle idee più erronee. Ad ogni istante, e noi pure impiegheremo spesso queste espressioni, ad ogni istante si parla della forza d'una macchina: si dice che una macchina ha la tal forza. Non devesi prendere letteralmente quest'espressione e credere che vi sieno forze appartenenti a macchine. Le forze appartengono tutte a qualcuno, e una macchina non è un qualcuno. Volendo impiegare linguaggio rigoroso converrebbe dire: la tal macchina utilizza tanta parte della forza d'un uomo, della forza d'un animale o delle forze fisiche o chimiche della Terra.

Nessuno prende abbaglio quando si tratta d'una macchina assai semplice, della carriuola ad esempio. Nessuno suppone che la forza che trasporta la terra o la ghiaia appartenga alla carriuola. Si sa benissimo che lì non agisce altra forza tranne quella dell'uomo che spinge la carriuola, e che mercè questa può esser meglio utilizzata ad uno scopo speciale, allo scopo di trasportar materiali. Perchè non si pensa alla stessa guisa quando si tratta d'una macchina a vapore? Perchè in questo caso non si scorge a colpo d'occhio dove risieda la forza. Non al certo nella macchina, poichè fino a che non si accenderà il fuoco nel fornello la macchina non andrà certamente. La sua forza

motrice risiede adunque nel calore prodotto da questo fuoco. Ma questo calore non è egli una forza spettante alla Terra, forza che si sviluppa quando due sue materie, aria e carbone, si trovano a contatto? La locomotiva altro non fa che utilizzare codesta forza impiegandola a mettere i vagoni in movimento, e notate inoltre che la locomotiva non riesce ad utilizzarla tutta, questa forza, e, come nelle macchine tutte quante senza eccezione, una gran parte di forza rimane senza utile impiego. Siamo adunque bell'e intesi; quando parleremo della forza d'una locomotiva, intenderemo parlare della parte realmente utilizzata della forza della Terra, o se vi piace meglio della forza del calore.

CAPITOLO II.

Continuazione del'a definizione delle forze. — Forza centrifuga. Forza d'inerzia. — Assurdità del moto perpetuo.

Abbiam detto che le forze sono cause di movimento; ma ciò non basta. Sta nella natura del movimento il seguire sempre la linea retta; orbene, quando un corpo in moto devia dalla linea retta che percorreva dapprima per seguirne un'altra, o quando si muove seguendo una curva, ciò non può succedere che mercè l'intervento d'una nuova forza, d'una forza diversa da quella che dapprima lo aveva messo in movimento. Dunque non basta dire che le forze son cause di movimento, ma conviene aggiungere che esse son cause di cangiamento nella direzione del movimento.

Si disse or ora che il movimento succede sempre in linea retta o, ciò che torna lo stesso, in direzione rettilinea, a meno che una causa, una forza particolare non intervenga a porvi ostacolo; ciò forse vi parrà strano,

specialmente rammentandovi che la Terra e gli altri pianeti girano intorno al sole e si muovono in conseguenza secondo una curva, cui si diede anche un nome apposito, quello di *orbita*.

Ma senza lavorare di fantasia, pigliate una pietra, legatela all'estremità d'una funicella della quale terrete in mano l'altra estremità, ed imprimete un movimento qualunque alla pietra. Nei primi istanti essa si muoverà in linea retta, ma poco dopo tenderà la funicella e si fermerà; ovvero continuerà a muoversi, qualora l'impulso che le avrete dato sia stato alquanto forte e convenientemente diretto, e si muoverà descrivendo cerchi il cui centro sarà nella vostra mano. Supponete ora che una circostanza qualunque faccia rompere la funicella, cosa succederà?

Subito dopo la pietra sfuggirà riprendendo il suo movimento in linea retta.

Ma chi mai la obbligava a muoversi fin allora circolarmente? Forse la funicella? No. La funicella non è una forza. Era la vostra mano, eravate voi che per mezzo della funicella tenevate la pietra, e così le impedivate di seguire la direzione rettilinea naturale ad ogni movimento. Senza darvene per intesi aggiungevate alla primitiva forza d'impulsione una nuova forza, quella d'attrazione. Se vorrete fare realmente quest'esperienza, non tarderete ad accorgervi che la vostra mano sarà costantemente obbligata a tirare a sè la pietra che altrimenti scapperebbe; quest'attrazione appunto disturba continuamente la pietra nel moto primitivo. Non appena però cessa la forza d'attrazione, la pietra riprende il suo movimento rettilineo.

Generalmente si chiama *forza centrifuga* la tendenza che hanno tutti i corpi obbligati a muoversi circolarmente, di ricominciare a muoversi secondo una linea retta tosto che più non ne sieno impediti. Badate però che quest'espressione consacrata dall'uso, e che noi pure adopereremo,

non deve farvi acquistare l'erronea idea che la forza centrifuga sia una forza speciale generata dal movimento circolare. La forza centrifuga non è altro, ripetiamo, che la forza stessa che causò il movimento e la cui azione è disturbata da un'altra forza che impedisce a questo movimento di effettuarsi in linea retta.

La Terra, ora potrete comprenderlo, gira intorno al sole precisamente come la pietra d'una fionda intorno alla vostra mano. Per la Terra non c'è bisogno di funicella: questa era indispensabile a trattenere la pietra sempre pronta a scappare; la Terra invece è trattenuta dal sole con altro mezzo, con la *gravitazione* o *forza centripeta*, della quale avremo fra non molto motivo di riparlare più ampiamente. Se questa forza d'attrazione cessasse d'agire solo per un istante, la Terra abbandonerebbe immediatamente la posizione che occupa per slanciarsi in linea retta nell'immensità dello spazio, allontanandosi dal sole con rapidità ognor crescente; il che, come sembrerà anche a voi, sarebbe un fatto non del tutto esente da gravi pericoli. — In tal caso la Terra non scapperebbe in una direzione qualsiasi, ma bensì secondo la *tangente*, parola questa che ne richiede alcune altre per essere spiegata. Considerate per un istante la circonferenza d'un cerchio come se fosse composta di tante piccole linee rette, ma assai piccole, piccolissime, tanto piccole quanto immaginar potete; or bene, queste piccolissime linee rette son dette *tangenti*. La pietra della nostra fionda percorreva in un istante piccolissimo una di quelle piccolissime linee rette, una di quelle tangenti; ma se durante quell'istante la funicella della fionda si fosse spezzata o fosse stata abbandonata dalla vostra mano, nulla costringendo più la pietra ad abbandonare quella piccola linea retta per portarsi sulla contigua, essa pietra avrebbe continuato a muoversi nella stessa direzione, vale a dire nella direzione che aveva la linea

ch'essa percorreva nell'istante della rottura, e ciò appunto dicesi scappare secondo la tangente.

Tutti avrete osservato come durante i tempi piovosi le ruote delle vetture slancino tutt' all'ingiro delle gocce di fango: ebbene questo è un effetto della forza centrifuga. Il cavaliero che nel circo sta in piedi (*fig. 1*) sopra un ca-

Fig. 1.

vallo al galoppo, non manca mai di inclinarsi verso l'interno del circo, ed il suo cavallo fa istintivamente altrettanto. Ed entrambi hanno ragione, poichè altrimenti sarebbero in breve slanciati dalla forza centrifuga sui sedili dei circostanti spettatori. Non obbiettatemi che in questo caso non vi ha nè la funicella nè l'attrazione, come negli esempii tratti dai movimenti della fionda intorno alla mano o della Terra intorno al sole. Qui l'attrazione è sostituita dalla volontà del cavaliero, e questa volontà è una forza che impedisce al cavallo di correre in linea retta. La posizione inclinata che assumono cavallo e cavaliero tende a farli cadere verso l'interno del circo, mentre invece la forza centrifuga tende a slanciarneli fuori. Queste due opposte tendenze si distruggono l'una con l'altra, e

E notate che ancora non abbiam fatta parola della resistenza dell'aria, alcune parti della quale prenderanno sempre parte al movimento della macchina, che perciò si troverà necessariamente di più in più rallentata. Se la ricerca del moto perpetuo, intorno alla quale potremmo dire molte cose ancora, non fosse altro che un assurdo, meno male; ve ne sono tanti in circolazione a questo mondo! ma è un assurdo che sventuratamente fa perdere tempo e denaro a buoni operai, che senza questa chimera in mente potrebbero produrre qualche cosa di utile.

Fino ad ora, ed anco in seguito ci accadrà spesso, abbiam parlato del movimento, quasi fosse una cosa che si dà, si comunica o si perde; in breve, come fosse una cosa distinta, qual è ad esempio la moneta che non si può cedere senza impoverirsene. Quest'è un modo di dire per facilitare il discorso; ma invero il movimento è altra cosa; esso non è un oggetto che si possa separare dai corpi e che possa passare dall'uno all'altro come posso far passare dalla mia mano nella vostra questa penna. Il movimento è uno stato particolare dei corpi, e le forze sono quelle che li mettono in tale stato. Non si può togliere il moto che coll'intervento d'un'altra forza.

Questa forza posseduta da tutti gli enti che conosciamo, e che risiede in ogni parte di loro o dei loro organi, questa forza, che è la principale fra quelle che distruggono il movimento, chiamasi *forza d'inerzia.* Ogni corpo sia che si trovi in riposo, sia che si trovi animato da un certo movimento, tende nel primo caso a rimanere in riposo, e nel secondo a perdurare nello stesso movimento. Egli oppone una certa resistenza a quanto tende ad aumentare od a diminuire il suo movimento, a cangiarne la direzione, ed infine a distoglierlo dal suo riposo. Questa resistenza è una forza che, opponendosi alla forza sollecitante i corpi, ne distrugge una parte.

È facile accorgersi quale sforzo rilevante si richieda per mettere in movimento un vagone, quand'anche esso si trovi sopra rotaie piane e ben liscie, mentre basta un lievissimo sforzo a mantenerlo in movimento. Dapprima opponevasi la forza d'inerzia del vagone, forza considerevole perchè proporzionale al peso dell'oggetto che vuolsi mettere in moto; ma poscia devesi vincere la sola forza d'inerzia dell'aria, dei granelli di sabbia, ecc., che incontrati successivamente dal vagone nel suo movimento vengono da lui messi in moto; forza questa molto minore, attesa la molta leggierezza di quei corpi. È per la stessa ragione che i cavalli attaccati ad un carro fermo devono esercitare un grande sforzo per metterlo in movimento, mentre in appresso lo trascinano senza grande fatica.

Nella costruzione di certe macchine, la meccanica trasse utilissimo partito dalla forza di inerzia coll'invenzione dei *volanti* (*fig. 2*). Questo nome si dà ad una ruota, le cui braccia son molto leggiere, ed i cui quarti, solitamente di ferro fuso, sono all'incontro molto pesanti. Talvolta in luogo di quei quarti così pesanti si costruisce il contorno della ruota con una leggiera verga di ferro, alla quale si applicano di distanza in distanza dei pezzi massicci di piombo.

Fig. 2. Volante.

Sonvi macchine che non lavorano costantemente, che cioè

devono ad intervalli, come suol dirsi, camminare a vuoto. I cilindri o laminatoi, fra i quali si comprime il ferro per ridurlo in isbarre, ne sono un esempio. Quando la macchina non lavora, quando cioè non ha ferro da laminare, la forza che la fa andare è per la massima parte impiegata a far girare molto velocemente l'enorme volante, che trovasi sull'asse stesso dei cilindri laminatori e che pesa talvolta fino a ventimila chilogrammi e compie cento giri al minuto. Ma quando di lì a poco si presenta fra i cilindri il ferro rovente appena escito dal forno, il ferro la cui resistenza alla compressione è tuttavia grandissima, potrebbe di botto arrestare la macchina; ma perciò, converrebbe arrestare anco il volante, e ben si comprende qual forza stragrande sarebbe necessaria ad arrestare improvvisamente una massa tanto pesante, dotata di sì grande velocità; la cui forza d'inerzia è conseguentemente grandissima. I cilindri continueranno adunque a girare, ed il ferro che non avrebbe potuto essere laminato mercè la sola forza della macchina, trovasi convertito in isbarre, grazie al soccorso del volante, che ben a ragione viene considerato come un serbatoio di forza.

I volanti non servono soltanto a restituire in parte alle macchine le forze ch'esse spendono inutilmente quando vanno a vuoto, in alcuni casi servono ancora a regolarizzare l'azione della stessa forza. Quando ad esempio un operaio fa andare una ruota mediante una manovella, lo sforzo da lui esercitato è minore quando la manovella è all'altezza del suo petto anzichè quando essa trovasi verso l'alto o verso il basso della circonferenza che descrive. Il movimento impresso alla macchina mediante questa ruota, sarebbe irregolare se non vi fosse lì pronto il volante a mettervi riparo. Ed infatti, quando la mano dell'uomo che fa girare la ruota si rallenta, anche la macchina tende a rallentarsi, ciò però non può succedere senza che si rallenti

il moto del volante, a tale rallentamento si oppone la di lui inerzia, e cosi la macchina seguita ad andare con la stessa velocità o con velocità ben poco minore.

Questa piccola digressione ci fece perdere un pochino di vista il nostro soggetto. Riprendiamolo tosto. Eravam giunti a parlare dell'inerzia per spiegare come sia che ad onta della tendenza comune a tutti i corpi di perseverare nel loro stato di moto o di riposo, una palla rotolante sul terreno è continuamente rallentata dall'inerzia dei varii ostacoli che incontra per via, il che tosto o tardi ne produce la fermata. Tuttavia, la forza d'inerzia, non è la sola che rallenti o distrugga il movimento. Esso è del pari distrutto o rallentato, quando due o più forze qualunque tendono le une ad imprimergli una direzione e le altre una direzione diversa. Avremo occasione di ritornare su quest'argomento. Per ora limitiamoci a completare la nostra definizione delle forze, dicendo che le forze sono ad un tempo cause di moto e cause di modificazione o cessazione di moto.

CAPITOLO III.

L'Elasticità. — Composizione delle forze.

Forze eguali agenti in direzione contraria, si distruggono; la è cosa evidente come è evidente che se due cavalli di egual forza tirano un carro l'uno per farlo avanzare, l'altro per farlo indietreggiare, il carro non andrà nè avanti nè indietro, ma rimarrà immobile.

Sembrerebbe che ciò dovesse succedere in ogni caso, eppure se due palle di bigliardo lanciate con pari forza in contraria direzione (*fig. 3*) vengono ad urtarsi, non le vediamo arrestarsi sul colpo; vediamo invece che il loro movimento

Fig. 3.

cangia direzione e ciascuna retrocede (*fig. 4*) subito dopo l' urto. Se le due forze che spingevano le due palle l'una contro l'altra si sono distrutte, come è mai che le palle si muovono ancora?

Notiamo anzitutto che se le due palle fossero di argilla o di cera molle, incontrandosi si arresterebbero tosto. Indietreggiano separandosi perchè sono d'avorio e perchè l'avorio è elastico. Ma cos'è dunque l'*elasticità*? L'elasticità è

Fig. 4.

la proprietà posseduta da alcuni corpi di riprendere la lor forma primitiva subito dopo che furon deformati da una causa qualunque, e di reagire contro gli ostacoli che impedissero loro di riprenderla. Incurvate un bastone e non appena lo abbandonerete a sè stesso lo vedrete riprendere in virtù della sua elasticità, la forma diritta che aveva dapprima. Il legno, l'avorio, quasi tutti i metalli, molte pietre ed i corpi duri in generale, sono elastici; l'acqua non lo è che in piccolissimo grado. Il vapore all'incontro, l'aria e gli altri gas sono elastici in sommo grado.

Ritorniamo alle nostre palle da bigliardo; urtandosi si deformarono reciprocamente, e per un brevissimo istante ebbero forma schiacciata (*fig. 5*), ma subito dopo in forza della loro elasticità ripresero la forma primitiva. I punti che nel contatto furono compressi e schiacciati, si rigonfiano prendendo

Fig. 5.

la posizione reciproca in cui trovavansi prima dell'urto e

di conseguenza si respingono. Se adunque le palle si allontanano l'una dall'altra, ciò non avviene in virtù della primitiva forza d'impulsione, che cessò ormai d'esistere bensì per effetto della loro potenza elastica. Lo schiacciamento istantaneo di cui abbiamo detto non è visibile quando si tratti di palle d'avorio, ma lo è, e con tutta evidenza, sostituendo ad esse delle palle di gomma elastica.

Perchè questo risultato dell'elasticità abbia a prodursi, non è necessario che entrambe le palle sieno in movimento; lo stesso effetto ha luogo anche quando una di esse è in riposo, alla condizione però che l'urto sia tanto violento da produrre una deformazione. Nel caso contrario la palla messa in movimento non indietreggia, continua invece ad avanzarsi, ma più lentamente, poichè avrà ceduto parte del suo movimento all'altra palla che incomincierà a rotolare alla sua volta con velocità pressochè eguale, per modo che le due palle cammineranno quasi di conserva. Cose tutte notissime ai giuocatori di bigliardo.

Abbiam detto che due forze agenti in opposte direzioni si distruggono scambievolmente, purchè sieno eguali; aggiungiamo ora che se sono diseguali, soltanto la più debole sarà distrutta e la più forte sarà affievolita di una quantità pari a quella che per tal modo potè distruggere. Ma cosa accadrà se le direzioni delle due forze agenti sopra lo stesso corpo, anzichè essere opposte, formano fra loro un angolo più o meno aperto?

Per rendercene conto immaginiamo due cavalli attaccati ciascuno per mezzo d'una corda, ad un carro portante tre massi di pietra. Fino a che i cavalli cammineranno l'uno di fianco all'altro, potranno trascinare i tre massi; se si scosteranno alcun poco l'uno dall'altro non riesciranno a trascinarne che due; scostandosi ancora ne po-

trebbero trascinare uno solo; e per ultimo se, a forza di allontanarsi l'un dall'altro, i cavalli tendessero ad opposte direzioni, non potrebbero più trascinar nulla. L'unione, la somma delle loro forze utilizzate, sia quando trascinano i tre massi, sia quando ne trascinano appena due od uno solo, porta il nome di *risultante*, e ciascuna forza, quello di *componente*.

La forza di quei cavalli diminuì forse per la sola circostanza che si scostarono l'uno dall'altro? No certo: fu invece che parte della forza d'un cavallo servì a distruggere parte di quella del suo compagno, e ne risultò che soltanto una parte delle lor forze fu utilmente impiegata.

Possiamo adunque stabilire che il risultato ottenuto da parecchie forze agenti sopra uno stesso corpo andrà tanto più diminuendo, quanto più ampio sarà l'angolo che fra loro faranno le direzioni di queste forze. Se adunque vi sono venti corde attaccate ad una grossa campana, e se venti persone per far suonare quella campana tirano ciascuno una corda, tenendosi ben vicine potranno raggiungere facilmente lo scopo, mentre invece allontanandosi dovranno fare maggiori sforzi; allontanandosi ancor più non riescirebbero neppure, per quanto faticassero, a mettere in moto la campana.

Ma qual direzione prenderà il carro trascinato dai nostri due cavalli che non tirano concordemente? Se le loro forze sono eguali, la direzione presa dal carro sarà secondo la linea retta che divide precisamente a metà l'angolo formato dalle due corde. Se all'incontro le loro forze sono ineguali, il carro si muoverà sopra una retta dividente lo stesso angolo in due angoli ineguali, dei quali sarà più piccolo quello che si trova dalla parte del cavallo più forte, e la differenza fra quei due angoli starà sempre in un certo rapporto con la differenza esistente tra la forza dei due cavalli. La direzione che piglierà il corpo messo in mo-

vimento dicesi *direzione della risultante*, ed in tal caso codesta risultante sarebbe, come abbiam già detto, una forza immaginaria che si può supporre sostituita alle forze dei due cavalli.

Quanto precede può forse sembrarvi un po' difficile ad essere compreso; alcuni esempi lo renderanno più chiaro. Senza dubbio avrete avuto occasione di vedere più volte un uomo tirare con una corda un battello per fargli risalire un fiume. E come è che il battello continuamente tirato verso la sponda dall'uomo che cammina sulla strada coll'alzaia, non abbandona il mezzo della corrente? Perchè, direte voi, a bordo del battello vi è un altr'uomo che ne manovra il timone; ciò è verissimo, ma facciamoci un poco ad osservare quel che succede.

Notiamo prima di tutto che il battello ha forma regolare e simmetrica, e perciò l'acqua agisce egualmente tanto sulla sua destra quanto sulla sua sinistra, quindi la corrente non produce effetto alcuno sulla direzione del battello. Quand'esso non fosse trattenuto dalla corda, la corrente lo farebbe bensì indietreggiare, ma non potrebbe farlo deviare nè da una parte, nè dall'altra. Ebbene, gli si fa perdere la forma simmetrica, e per conseguenza le di lei prerogative, con l'aggiunta del timone, esponendo così all'urto della corrente maggior superficie dalla parte cui è diretto il timone. Non è mestieri dirvi che un timone si compone d'una tavola sostenuta da cardini sulla parte posteriore del battello e mantenuta, per mezzo d'una *sbarra*, in posizione più o meno obliqua relativamente all'asse, ossia relativamente alla direzione del battello; il timone, per dirla in breve, è l'imitazione della coda del pesce, della coda che il pesce muove a destra od a sinistra a suo talento.

Supponiamo adunque che il timone del nostro battello sia rivolto verso la sponda opposta a quella su cui muo-

vesi l'uomo che tira la corda. La resistenza che oppone l'acqua incontrando il timone, ritarda soltanto da quel lato il movimento del battello. Che cosa ne risulta? Che risulterebbe se camminando col vostro braccio destro steso orizzontalmente, il braccio incontrasse un ostacolo, ad esempio una parete? ne risulterebbe che girereste sopra voi stesso verso destra. E così fa il battello. Esso tende a girare verso la riva opposta a quella su cui muovesi l'uomo dalla corda. Ma siccome nel tempo stesso la corda tira il battello a questa riva, così il battello trovasi contemporaneamente sollecitato da due forze oblique formanti fra loro un angolo; e qual direzione piglierà? quella della risultante, vale a dire, quella d'una retta dividente quell'angolo in due parti e dirigentesi nel senso del mezzo del fiume. Siccome poi la forza della corrente è variabile ed anche l'uomo non tira sempre la corda con la stessa forza, così, come ben si comprende, il battello non seguirebbe costantemente la voluta direzione, se non variasse la posizione del timone. Bisogna adunque che qualcuno sia sempre alla sbarra onde rendere maggiore o minore la resistenza opposta dal timone all'azione dell'acqua, facendo fare al timone un angolo più o meno grande con l'asse del battello, a seconda che questo tende ad allontanarsi o ad avvicinarsi alla spiaggia.

Quando il vento soffia da tramontana, sembra a primo aspetto impossibile che un bastimento a vela possa dirigersi a tramontana, possa andare cioè contro il vento. Eppure i marinai raggiungono il loro scopo. Orientano le vele e muovono il timone in modo da opporre al vento una nuova forza, e progrediscono seguendo la direzione della risultante di questa nuova forza e della forza del vento, andando a zig-zag ora a diritta ed ora a sinistra, il che in linguaggio marinaresco è detto: *correr bordate.* Così si accostano al porto, non molto presto invero, ma ab-

bastanza presto per poter salvare il bastimento da perdita sicura. È adunque alle loro nozioni di meccanica ch'essi devono la loro salvezza.

Gettando una moneta dalla portiera di un vagone in piena corsa, quella moneta non cadrà a terra verticalmente come se l'aveste gettata sulla via dall'alto della vostra finestra; ma conserverà per qualche tempo il movimento orizzontale del vagone, ed acquisterà inoltre il movimento verticale dovuto alla propria gravità. Per obbedire ad un tempo ad entrambi questi movimenti, seguirà la direzione della risultante delle due forze che li generano, direzione che è quella d'un'obliqua rivolta nel senso del movimento del convoglio.

La stessa cosa succede a voi pure discendendo da una vettura in movimento. Quella risultante di due forze di direzione diversa tende a farvi cadere dalla parte verso cui la vettura si dirige. Non avete che un solo mezzo per evitare una caduta talvolta pericolosissima, quello cioè di fare ogni possibile sforzo per cadere dall'altra parte; non vi riescirete, e così non cadrete nè da una parte nè dall'altra. Perciò scendendo a terra dovete, volgendo la faccia verso i cavalli, inclinarvi fortemente indietro come se voleste gettarvi a terra sul dorso. Lo sforzo della risultante, anzichè rovesciarvi non farà altro che farvi raddrizzare, e tosto dopo toccato il suolo vi troverete in posizione normale.

Questo vien fatto macchinalmente da quanti scendono da un omnibus senza farlo fermare. Dopo ciò che avete letto non lo farete più macchinalmente, ed è già qualche cosa il giungere a questo risultato, che gli uomini cioè non agiscano come gli animali che non hanno altra guida che l'istinto. È bensì vero che l'istinto inganna assai di rado, ma esso nulla inventa, nulla scopre. Illuminiamolo adunque con la scienza, onde arrivare a fare qualche cosa di più di quanto fanno i bruti.

CAPITOLO IV.

Risultante di forze parallele. — Centro di gravità.

Fino ad ora ci siamo occupati soltanto della risultante di forze agenti in direzione divergente, formanti cioè un angolo fra loro. Ora diremo alcunchè delle forze agenti nello stesso senso ed in direzioni parallele, non più sovra un punto, ma sopra una stessa retta.

Preveniamo il lettore che tenteremo una piccola dimostrazione del principio che fra breve enunceremo. Gli spiriti pigri non amano le dimostrazioni, che per esser comprese richiedono sempre qualche sforzo di attenzione; preferiscono credere sulla parola quanto vien loro insegnato: tendenza detestabile che non solo si oppone a qualunque progresso, ma dispone anche l'intelligenza ad accettare come verità gli errori più grossolani. La natura elementarissima di questo volumetto, non ci permette per mala sorte di dimostrare con ragionamenti tutto ciò che andiamo dicendo, ma non mancheremo di approfittarne ogniqualvolta ci si presenterà la possibilità di farlo.

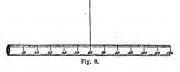
Fig. 6.

Supponiamo adunque due sbarre di ferro rotonde e dello stesso diametro; l'una lunga venti centimetri e pesante un chilogramma (*fig. 6*), l'altra lunga un metro e per conseguenza pesante cinque chilogrammi (*fig. 7*). L'esperienza prova che sospendendo ciascuna di quelle due sbarre ad un filo attaccato al loro punto di mezzo, rimangono in equilibrio, vale a dire restano per-

Fig. 7.

fettamente orizzontali. La mano che sorregge il filo cui è sospesa la sbarra lunga un metro eserciterà forza cinque volte maggiore di quella esercitata dall'altra mano sopportante la sbarra lunga venti centimetri. Evidentemente queste due forze son parallele ed agiscono nello stesso senso. Accostiamo le due sbarre l'una all'altra fino a che si tocchino per le estremità e uniamole col pensiero in modo da formarne una sbarra sola lunga un metro e venti centimetri; e siccome nulla ha cangiato in causa di codesto accostamento, così continuando a tenere un filo con una mano ed un filo con l'altra, la nuova sbarra rimarrà in equilibrio.

Ma tener impiegate ambe le mani a questo modo, mi reca noia; vorrei, senza nulla scomporre, impiegarne una sola, vale a dire sostituire alle due forze un'unica forza, che per conseguenza ne sarà la risultante. Sospenderò perciò la mia sbarra ad un nuovo filo attaccato al di lei mezzo (*fig. 8*), ed a questa guisa l'equilibrio non sarà turbato.

Fig. 8.

Ma il mezzo della sbarra lunga un metro e venti centimetri trovasi a cinquanta centimetri dal punto in cui era attaccato il filo che sollevava il pezzo di un chilogrammo, ed a dieci centimetri, vale a dire cinque volte più vicino, dal luogo in cui era attaccato il filo che sosteneva il pezzo di cinque chilogrammi. Dunque, a due forze parallele dirette nello stesso senso ed agenti sopra una linea retta,

si può sempre sostituire una terza forza diretta nello stesso senso che sia parallela alle precedenti, ed il cui punto di applicazione sia di tanto più vicino a quello della forza maggiore quanto più essa è grande, e di tanto più lontano da quello della forza minore quanto più essa è piccola. Ciò si esprime dicendo che *le distanze della risultante dalle componenti, sono in ragione inversa della grandezza di queste componenti.*

Aggiungiamo inoltre che la risultante dev'essere una forza eguale alla somma delle forze componenti, il che non succede mai quando non si tratta di forze parallele. Infatti, quando non impiego che un filo ed una mano soltanto per sostenere la sbarra formata dalla riunione dei due pezzi primitivi, è chiaro che questa mano sopporta il peso d'ambi i pezzi, vale a dire, essa sola lavora tanto quanto lavoravano prima unitamente le due mani.

È quasi inutile il dire che quando le due forze parallele che agiscono sopra una retta sono eguali, il punto d'applicazione della loro risultante trovasi nel mezzo di codesta retta. Questa è una conseguenza di quanto abbiamo già detto, e d'altronde l'esperienza mostra chiaramente che se una sbarra omogenea di legno o di metallo è sospesa in posizione orizzontale mediante due fili attaccati alle sue estremità e sopportanti per conseguenza pesi eguali, non avviene alcun cangiamento sostituendo a quei due un unico filo attaccato al mezzo della sbarra.

Queste considerazioni intorno alla posizione occupata dalla risultante di due forze parallele riceve numerose ed importanti applicazioni nella meccanica. Ci fermeremo ad una sola fra queste, alla determinazione del *centro di gravità,* poichè è impossibile renderci conto, anco all'ingrosso, dei particolari che riferisconsi alla costruzione di macchine, senza averne almeno una leggiera idea.

Tutti i corpi sono pesanti, vale a dire tutti sono sol-

lecitati da una forza che li attrae verso il centro della Terra. Ritorneremo ben presto sopra questa definizione della gravità. Consideriamo un corpo, di forma qualsiasi; tutte le particelle di cui si compone sono pesanti e possono considerarsi come altrettanti punti d'applicazione di piccole forze che li attraggono verso terra. Sebbene tutte queste piccole forze sieno dirette verso il centro del globo terrestre, pure questo centro è talmente lontano da noi, l'angolo formato dalle loro direzioni è talmente piccolo, che le stesse si possono considerare come parallele.

Nulla ci impedisce di immaginare una linea retta che vada dall'una altra di queste particelle e che per conseguenza sarà sollecitata da due forze parallele agenti nello stesso senso, alle quali potremo col pensiero sostituire la loro risultante. Ma nulla ci impedisce poi di considerare congiunto anco il punto d'applicazione di questa risultante ad un terzo punto mediante una nuova retta. Il peso di questa particella e la risultante testè trovata saranno due forze parallele agenti sopra questa retta, e potranno alla lor volta essere sostituite dalla loro risultante. Alla stessa guisa continuando a sostituire sempre due forze con una sola, arriveremo a sostituire a tutte le piccole forze che agiscono sopra ogni singola particella del corpo di cui si tratta una forza unica, una risultante finale, eguale in potenza alla riunione di quelle piccole forze. È al punto d'applicazione di questa risultante che si dà il nome di *centro di gravità* di quel corpo. In altri termini, il centro di gravità d'un corpo è il punto in cui si può immaginare concentrata tutta la sua *gravità*, tutto il suo *peso*, parole queste che significano la stessa cosa.

Qualunque sia la posizione che prende un corpo, quella del suo centro di gravità non cambia mai, poichè per determinarlo non abbiamo avuto riguardo alla posizione che aveva il corpo quando ce ne occupavamo. D'al-

tra parte le piccole forze, che possonsi considerare come gli elementi del peso di quel corpo, rimangono sempre parallele, poichè tendono sempre ad attrarlo verso terra, e ciò basta a far conservare la stessa posizione al punto di applicazione della loro risultante. Possiamo dunque ripetere che fino a tanto che la forma e la composizione di un corpo non cangiano, la posizione del suo centro di gravità rimane invariabile.

Ma come si potrà in pratica determinare questo punto? Non al certo facendo le operazioni immaginarie delle quali abbiamo tenuto parola. Riflettendovi bene, troveremo forse un mezzo più semplice.

Prendiamo un corpo qualunque e supponiamo, come avviene quasi sempre, che il suo centro di gravità si trovi nel suo interno, e che inoltre ne sia nota la posizione. Supponiamo che una verticale, vale a dire una retta passante pel centro della Terra, penetri nell'interno di questo corpo, passi pel suo centro di gravità, ne esca superiormente: proprio come con un lungo ago si traversa da parte a parte un arancio. È chiaro che sospendendo il corpo in questione (*fig. 9*) ad una corda o ad una catena pre-

Fig. 9.

cisamente pel punto in cui quella retta ideale lo bucherebbe superiormente, esso corpo rimarrebbe sospeso nella posizione in cui si trova senza fare il benchè minimo movimento. Ed invero non vi ha movimento senza una forza che lo determini; ora nel nostro caso, a tutte le forze che sollecitavano il corpo, abbiamo sostituita la loro risultante e quest'unica forza si trova distrutta dalla resistenza opposta dalla corda cui è sospeso il corpo, poichè questa resistenza è una forza verticale come la risultante, ma in direzione opposta alla sua ed agente sullo stesso punto che lei, ossia nel centro di gravità; e perciò si deve con-

siderare il corpo come se non fosse sollecitato da alcuna forza.

Poniamo adunque il principio che ogni corpo sospeso pel proprio centro di gravità, o ciò che torna lo stesso, appoggiantesi su questo centro, rimane in equilibrio, vale a dire mantiene la posizione in cui trovasi senza fare il più lieve movimento.

Ciò posto, potremo operare non più col solo pensiero, ma benanco con gli occhi e le mani; trattasi di determinare la posizione del centro di gravità di questo pezzo di legno che ho qui sul tavolo. Pianto un chiodino ad un punto qualunque della superficie di quel legno; al chiodino attacco un filo col cui mezzo sollevo il mio pezzo di legno. Probabilmente esso farà un capitombolo, si inclinerà a destra od a sinistra fino a tanto che avrà presa una certa posizione nella quale si manterrà immobile. Il che proverà che in tal caso la resistenza del filo distrugge l'azione di tutte le forze che agivano sovra quel corpo, ovverossia che la resistenza del filo distrugge l'azione della loro risultante: ciò però non si può ottenere se non in quanto la direzione del filo sia il prolungamento della direzione di codesta risultante, la quale, come già sappiamo, è sempre verticale. Se adunque, a partire dal punto in cui è piantato il chiodino, bucherò con una trivella finissima il mio pezzo di legno forandolo da parte a parte seguendo la direzione indicata dal filo, quel foro si troverà nella direzione della risultante, e sarò certo che il centro di gravità, che è il punto d'applicazione di detta risultante, si troverà in un qualche punto nell'interno del foro. Ma in qual punto? Non ne so ancora nulla, ma non tarderò molto a saperlo.

Ricominciamo la stessa operazione piantando però il chiodino, cui legherò il filo, in un altro punto della superficie del pezzo di legno. Il nuovo forellino che prati-

cherò nella direzione indicata dal secondo filo, passerà anch'esso pel centro di gravità, ma questi dovendosi trovare ad un tempo tanto sull'una quanto sull'altra delle due linee, secondo le quali abbiam praticati i forellini, non potrà trovarsi che nel punto in cui queste due linee si incrociano. Questo punto fornisce adunque l'esatta posizione del centro di gravità.

Questo metodo, ne convengo, è grossolano, e d'altronde non sempre è possibile forare i corpi dei quali vuolsi determinare il centro di gravità. Ma lo spirito può supplire alla trivella. Esaminando attentamente la direzione che seguirebbero nell'interno del corpo di cui trattasi, quando fossero prolungati, i due fili cui successivamente lo si sospenderebbe; si riescirà a rendersi conto della posizione del punto in cui si incrocierebbero, ed a conoscere per conseguenza, con sufficiente approssimazione, la posizione del suo centro di gravità.

Trattandosi d'un corpo di grandi dimensioni, d'una trave per esempio, si può procedere in maniera ancor più semplice. Basta collocarla sopra uno spigolo saliente, e muoverla in un senso o nell'altro fino a che rimane in equilibrio, fino a tanto cioè che rimane orizzontale. Che accadrebbe segandola per traverso in modo che il taglio condotto ben verticalmente con la sega, passasse precisamente per lo spigolo accuminato su cui poggia la trave? Il centro di gravità si troverebbe necessariamente in uno dei punti percorsi dalla sega; poichè, se la trave è in equilibrio sul suo punto d'appoggio, convien pur dire che la risultante delle forze agenti sovr'essa si trova sulla verticale passante per quel punto d'appoggio, sulla qual verticale è per conseguenza situato il di lei centro di gravità, che evidentemente si trova compreso nella sezione che abbiam supposta fatta dalla sega.

Ma in qual punto di questa sezione? Facil cosa a

determinarsi. Le travi, le pietre da taglio ed in generale la massima parte dei materiali da costruzione hanno, il più delle volte, forme regolari. La sezione ideale da noi fatta, sarà un quadrato (*fig. 10*), o un rettangolo (*fig. 11*), ed il centro di

Fig. 10.

Fig. 11.

gravità si troverà nel punto di mezzo di detta sezione, vale a dire nel punto d'incontro delle sue *diagonali*. Sapete già che la diagonale di un quadrato o di un rettangolo è la retta guidata dal vertice di un angolo al vertice dell'angolo opposto.

Col sussidio della geometria si possono trovare altri metodi per determinare la posizione del centro di gravità dei corpi; così ad esempio si dimostra che il centro di gravità d'una sfera coincide col suo centro di figura, che il centro di gravità di un cilindro trovasi nel punto di mezzo del suo asse, che il centro di gravità d'un triangolo trovasi ai due terzi della lunghezza d'una retta guidata dal vertice d'uno dei suoi angoli al punto di mezzo del lato che gli sta in faccia, beninteso prendendo quei due terzi a partire dal vertice; che il centro di gravità di un anello trovasi nel di lui centro, e quindi fuori dell'anello (*fig. 12*), ecc.

Fig. 12.

Da quanto precede si rileva che ***un corpo non è in equilibrio se non quando il suo centro di gravità è situato sulla verticale passante pel suo punto di appoggio***, onde la resistenza opposta da questo punto di appoggio possa distruggere l'azione della risultante delle forze che tendono a far cadere a terra il corpo. Il centro di gravità del corpo umano, quando le braccia cadono naturalmente, è

situato verso il cavo dello stomaco. Inclinatevi innanzi, tanto che un filo a piombo applicato al cavo del vostro stomaco cada un po' innanzi della punta dei piedi, e potete star certi di perdere l'equilibrio; a meno che non vi sosteniate afferrando qualche oggetto, cadrete a terra. Perchè sussista l'equilibrio non è già necessario che il punto d'appoggio sia solido in tutta la sua estensione; una tavola ad esempio rimane in equilibrio anco se è sostenuta da tre piedi soltanto, purchè la verticale passante pel di lei centro di gravità cada fra i detti tre piedi; ed essa rimarrà tanto equilibrata quanto lo sarebbe se riposasse sopra un masso triangolare di pietra che riempisse il vano esistente fra quei tre piedi.

Nelle costruzioni si sta bene attenti a non infrangere la regola sovr'esposta. Guai agli incauti! i materiali che fossero collocati senza tenerne calcolo, cadrebbero a terra non appena fossero abbandonati a sè stessi. Non sempre però si è tanto scrupolosi, e non sempre si possono prevedere tutte le circostanze; così, ad esempio, per quanto sia solido il terreno, sul quale si erge una fabbrica, non è impossibile che coll'andare del tempo vi si producano dei costipamenti. Il che succede bene spesso in conseguenza delle continue scosse prodotte da macchine pesanti, o dal passaggio di gravi carichi. Ciò succedette già in parecchi edifici; da noi, è a tutti nota la celebre torre pendente di Pisa inclinata all'infuori un metro circa. E perchè non crolla? Perchè ancora adesso, abbassando dal di lei centro di gravità un filo a piombo, il piombo non cade al di fuori del terreno occupato dalla base della torre. Il che prova a sufficienza quanto importi per la stabilità dalle costruzioni dar loro una base quanto più ampia è possibile.

È quasi impossibile far stare in piedi un uovo per la punta. E perchè? perchè fra le migliaia di posizioni che

si può dargli inclinandolo un po' più a destra od a sinistra, non ve n'ha che una sola, nella quale la verticale passante pel suo centro di gravità passerebbe del pari pel suo punto di appoggio, e questo è tanto piccolo da potersi quasi dire un punto geometrico. Ritrovando siffatta posizione, l'uovo resterebbe in equilibrio, ma quest'equilibrio sarebbe *instabile*, poichè basterebbe il più lieve soffio per deviare la verticale passante pel centro di gravità, dal punto di appoggio, e quindi l'uovo cadrebbe necessariamente.

Quando non sia possibile assegnare alle costruzioni base sufficientemente ampia, conviene disporre le cose in modo che il loro centro di gravità sia situato quanto più al basso è possibile. Un giocattolo ben noto ai fanciulli (*fig. 13*), consiste in un piccolo cilindro di midollo di sambuco alla cui base è fissata una pallottolina di piombo. La base di questo cilindro è piccolissima, poichè poggiandolo sopra un tavolo, come l'uovo di cui parlavamo poc'anzi, essa non lo tocca che in un punto solo. Tuttavia il suo equilibrio è dei più stabili. Rovesciandolo si raddrizza da sè, poichè il centro di gravità, che trovasi quasi nel centro della pallottolina di piombo, trovasi assai vicino al punto di appoggio. — Supponiamo viceversa che il centro di gravità della torre di Pisa si trovi più alto di quello che è in fatto, allora la verticale abbassata da questo punto cadendo necessariamente al di fuori della base della torre questa crollerebbe certamente.

Fig. 13.

Il centro di gravità d'un carro carico di piombo o di ferro trovasi di pochi centimetri soltanto al disopra dei suoi assi, mentre invece in un carro di fieno il centro di gravità trovasi due ed anco tre metri superiormente agli

stessi. Se una ruota d'entrambi i carri entra in un solco profondo, non vi sarà al certo difficile l'indovinare quale dei due carri si rovescierà.

Abbiam detto che la posizione del centro di gravità dei corpi è invariabile fino a tanto che nulla si cangia in essi; ma questa posizione varia a seconda della natura del cambiamento che provano. Il centro di gravità d'un omnibus non si trova alla stessa altezza quando è vuoto, quando è carico internamente, quando è carico tanto internamente quanto sull'imperiale, o quando ne è carica la sola imperiale. Nel secondo caso il centro di gravità trovasi più in alto che nel primo, più in alto nel terzo che nel secondo, ed è talmente alto nel quarto da far temere un accidente.

Il centro di gravità del nostro corpo non è situato dappresso alla cavità dello stomaco se non quando stiamo ritti in piedi con le braccia pendenti ed i piedi sulla stessa linea; basta muoversi per far tosto cangiare di posizione il nostro centro di gravità. Alzando ad esempio una gamba, il detto centro si porterebbe innanzi, e cadremmo se con un moto istintivo non fossimo pronti a volgere indietro la porzione superiore del nostro corpo riconducendo così il nostro centro di gravità sulla verticale passante fra i piedi. Per la stessa causa chi ha un sacco sul dosso è costretto ad inclinarsi in avanti; se con una mano portiamo un secchio d'acqua dobbiamo, per non cadere, inclinarci dal lato opposto a quello del peso che trasportiamo.

Avrete forse veduto talvolta i funamboli servirsi d'un *bilanciere*, vale a dire, d'una lunga pertica le cui due estremità sono gravate da palle più o meno pesanti; se ne servono per far variare ad ogni istante, non già la posizione del proprio centro di gravità, ma la posizione di quello che sarebbe il loro centro, se il bilanciere facesse parte del loro

corpo, il che, dal punto di vista della meccanica, è in fatto fino a tanto che lo tengono in mano. Quando s'accorgono che son lì lì per cadere a diritta, stendono il bilanciere, portando così il loro centro di gravità verso sinistra, il che tendendo a farli cadere da questa parte vale a correggere la tendenza che avevano a cadere dall'altra.

È importantissimo che il centro di gravità d'un bastimento sia situato quanto più basso è possibile, poichè altrimenti un colpo di vento basterebbe ad inclinarlo sul fianco. Per mantenervi basso il centro di gravità, vi si colloca la zavorra, vale a dire, un peso considerevole che conviene trasportare senza profitto. Succedendo una burrasca, il capitano si trova talvolta costretto ad abbassare ancor più il centro di gravità del suo bastimento e a tale scopo fa gettare in mare i cannoni e le merci di maggior peso che trovansi sopra coperta: ei non fa questo per alleggerire il bastimento, bensì per dargli maggiore stabilità.

Potremmo moltiplicare all'infinito gli esempii che mostrano tutta l'importanza della teoria del centro di gravità, ma temiamo stancare il lettore, il quale se vuole seriamente istruirsi, deve abituarsi a fare da sè le applicazioni dei principii che gli vengono insegnati.

CAPITOLO V.

La gravità. — Leggi del moto accelerato.

Tutti i corpi si attraggono l'un l'altro e si attraggono tanto più quanto più è grande la loro *massa;* vale a dire quanto maggiore è la quantità di materia di cui sono composti. La massa di un corpo è misurata dal prodotto del suo volume per la sua densità. Non è mestieri rammentarvi che *volume* è lo spazio che un corpo occupa; perciò una mela ha volume maggiore d'un nocciuolo. La *densità* poi è la

tessitura più o meno compatta della materia componente i corpi. La tessitura d'una spugna è rada; la spugna ha poca densità. La tessitura dell'oro è ben compatta, e perciò l'oro dicesi molto denso. In altri termini, la densità è la quantità di materia che a pari volume è contenuta nei diversi corpi.

La proposizione da noi enunciata testè, che tutti i corpi si attraggono mutuamente, potrà sembrarvi smentita dall'esperienza. Se, direte voi, due oggetti collocati sul tavolo si attirassero realmente, si ravvicinerebbero, mentre invece rimangono immobili. Egli è che la loro forza attrattiva è proporzionale alla lor massa, che è piccolissima; perciò questa forza non basta a vincere le resistenze che l'inerzia, l'aria, l'attrito, ecc., oppongono al loro ravvicinamento. Sospendete una palla di piombo ad un filo ed avvicinatevi ad essa, la palla non si muoverà. La vostra forza attrattiva è troppo debole per metterla in movimento; ma se portate quella palla sospesa al filo presso alle falde di un'alta montagna, vedrete il filo abbandonare la verticale e la palla accostarsi alquanto alla falda.

La Terra e gli altri pianeti attraggono verso di loro il sole; ma siccome le loro masse relativamente alla sua son piccolissime, e siccome d'altronde essi non agiscono nello stesso senso, ma in direzioni diverse, così il sole non cede in modo sensibile a questa attrazione. I pianeti all'incontro sono potentemente attratti dal sole, la cui massa è enorme relativamente alla loro, e precipiterebbero verso di lui se non fossero trattenuti da un'altra forza, dalla forza centrifuga.

Lasciamo all'astronomia lo studio di codeste attrazioni celesti, per occuparci soltanto di quelle che più particolarmente entrano nel dominio della meccanica. La Terra attrae verso il suo centro quanto si trova intorno a lei. Egli è perciò che ogni corpo che non ne sia trattenuto cade a terra, e cade lungo la verticale, vale a dire

lungo una linea retta che, prolungata, passerebbe pel centro di gravità della Terra. Non è forse da ammirarsi che la stessa causa che fa cadere una mela dal ramo, faccia circolare i pianeti intorno al sole? Questa causa cui si dà il nome di *attrazione*, di *forza centripeta*, di *gravitazione*, è una scoperta dovuta a Newton, illustre scienziato morto a Cambridge nel 1727, il cui genio diede grandissimo impulso ai progressi di cui glorificasi la scienza moderna.

Abbiam detto che la Terra attrae a sè tutti i corpi: non dovete però credere che essa li attragga tutti con la stessa forza; ciascun d'essi è attratto da una forza proporzionale alla propria massa. In altri termini, i corpi dotati di maggior massa vengono attratti più fortemente. Quest'attrazione esercitata sopra ciascuno di essi vien detta *gravità*. I corpi in quanto si ha riguardo alla loro gravità diconsi *gravi*.

Un grave cade se è libero, e tende a cadere se è sorretto o sospeso. La pressione o trazione che un corpo esercita per questa tendenza si chiama *peso* del corpo.

Riflettendoci sopra, troverete in quanto precede qualche cosa che urta le idee acquisite. Generalmente si crede che la gravità sia una proprietà dei corpi, una forza che risiede in essi, una cosa che è loro propria, come la forma o la tessitura. Eppure, questo non è vero; la loro gravità, il loro peso non ha la propria origine in essi, ma nella Terra; l'uomo che porta un fardello, e che dice che questo fardello gli dà fatica, si esprime male; la causa della fatica ch'ei prova risiede nella Terra che attrae a sè quel fardello.

Se il peso fosse una proprietà dei corpi, esso dovrebbe rimanere invariabile fino a tanto che i corpi non cangiassero nè di densità nè di volume. Un corpo peserebbe tanto a Milano quanto a Venezia, eppure la cosa non è così. È bensì vero che se comperate un chilogrammo di zuc-

chero a Milano e poi posatolo sopra il piatto d'una bilancia a Venezia troverete ch'esso pesa ancora un chilogrammo; ma questo fatto non prova nulla, poichè se il vostro zucchero pesa di più a Venezia che a Milano, anco il peso di metallo al quale lo paragonate, e che collocate nell'altro piatto della bilancia, ha aumentato di peso. Invero, se in luogo d'una bilancia comune, fate uso d'una bilancia a molla, vedrete che se la molla cedeva a Milano sotto al peso dello zucchero, essa cederà ancor più a Venezia, il che è una prova certa che quello zucchero aumentò di peso. Questa differenza, piccolissima e difficilissima ad apprezzarsi anco con questo secondo mezzo, dipende dal fatto che Venezia, essendo in riva al mare, si trova situata più basso di Milano, ovvero è d'alcun poco più vicina al centro di gravità della Terra, centro che coincide quasi col di lei centro di figura, nel qual centro si posson supporre concentrate tutte le di lei forze attrattive.

E qui ci accorgiamo di dover riparare ad un'ommissione. Avremmo dovuto dirvi che l'attrazione, che è tanto più grande quanto più grande è la massa dei corpi, è inoltre, ed in modo ancor più sensibile, tanto più grande quanto più è piccola la distanza che separa i corpi. Appunto per questo uno stesso corpo è più attratto, o, ciò che torna lo stesso, è più pesante quando è situato in un luogo meno distante dal centro della Terra. Così, essendo la Terra alcun poco schiacciata verso i poli, i corpi che vi si trasportassero si troverebbero più vicini al di lei centro e diverrebbero quindi più pesanti. Ed appunto, come vedremo fra breve, mercè l'aumento di peso che vi prenderebbero i corpi, gli scienziati sono riesciti a misurare con esattezza codesto schiacciamento.

Sapete voi che cosa accadrebbe se la Terra, senza cambiar dimensione, cangiasse di densità; se in luogo d'essere composta di pietre, sabbie, acque, ecc., essa venisse tras-

formata in un globo d'oro massiccio? accadrebbe che aumentando la di lei forza di attrazione al paro dell'aumento di densità, ed essendo questa diventata all'incirca dieci volte più grande, tutto peserebbe dieci volte più che in oggi. Le vostre gambe, che presentemente hanno forza bastante per reggervi il corpo, non sarebbero più atte a quest'ufficio; non potreste più camminare, non potreste neppure strisciare come i serpenti. E se, anzichè la densità dell'oro, la Terra acquistasse quella dello sughero, la vostra posizione non migliorerebbe mica; la Terra vi attirerebbe tanto poco, sareste sì poco pesanti, che il più lieve venticello basterebbe a sollevarvi.

Resta dunque stabilito che la gravità è soltanto l'attrazione esercitata dalla Terra sopra i corpi. Ma, direte voi forse, se la Terra attrae tutti i corpi, come mai sonvene taluni, le nubi, i palloni, ad esempio, che anzichè avvicinarsi alla Terra sembrano volerla abbandonare sollevandosi?

Non dimentichiamoci che i corpi sono attratti in ragione della loro massa. Attacchiamo con una cordicella un turacciolo di sovero al fondo d'un vaso che riempiremo di acqua; poscia taglieremo la cordicella che trattiene quel turacciolo. È ben vero che il sovero attratto dalla Terra tenderebbe a rimanere in fondo al vaso, ma è vero del pari che l'acqua, la cui massa è ben maggiore di quella del sovero, ha una tendenza ancor più grande per scacciarlo ed andarne ad occupare il posto. Pesando ben più del turacciolo, l'acqua penetra sotto di lui e lo solleva continuamente fino a che lo porta a galleggiare alla superficie. Le cose non succedono diversamente per le nubi ed i palloni. L'aria è maggiormente attratta, ovvero più pesante sotto uno stesso volume [1] in confronto dei palloni e delle nubi; essa vi si insinua sotto e li solleva.

(1) Un metro cubo d'aria presa a poca altezza dal livello del mare, pesa circa un chilogrammo e trecento grammi.

Mettete in un vaso uno strato di sabbia fina, e sulla sabbia uno strato di minuti grani di piombo; agitate il vaso per brevi istanti, e allora cosa vedrete? i grani di piombo che trovavansi alla parte superiore saranno riuniti sul fondo del vaso; la sabbia che prima trovavasi sotto si troverà sopra di essi. La sabbia salì forse liberamente alla superficie? No, essa vi fu costretta dai grani di piombo che, essendo più pesanti di lei, son discesi, si son messi nel posto ch'essa occupava dapprima.

Il pallone si trova assolutamente nella stessa condizione di codesta sabbia. Ciò sembrerà strano a chi s'immagina che il pallone col suo inviluppo, colla navicella e con tutto il resto del corredo dell'areonauta debba necessariamente essere più pesante dell'aria. Ma convien prima andare intesi sul significato della parola *pesante*. Non vuolsi già dire che il pallone solo pesi più di tutta l'aria che circonda il globo terrestre. Di qual quantità d'aria vuolsi adunque parlare? D'un volume d'aria eguale a quello del pallone. Per fissare le idee supponiamo che questo volume sia di 600 metri cubici. Questi 600 metri cubici peseranno 780 chilogrammi, ed il gas onde il pallone è ripieno essendo leggiero circa dieci volte più dell'aria, i 600 metri cubici di gas in esso contenuti non peseranno che 78 chilogrammi all'incirca. Ammettendo che il peso totale dell'inviluppo, delle corde e della navicella sia di 250 chilogrammi, e che la navicella contenga due uomini pesanti complessivamente 150 chilogrammi, il peso totale del pallone co'suoi accessorii sarà di soli 478 chilogrammi: sarà adunque molto meno pesante dell'aria di cui occupa il posto, e lo si potrà considerare rispetto all'aria come i granelli di sabbia di cui parlammo più sopra rispetto a quelli di piombo.

L'attrazione terrestre agisce sui corpi in maniera costante, ed è proprietà di tutte le forze che operano in

maniera costante l'imprimere un moto accelerato ai corpi sui quali agiscono.

Un corpo si dice animato di moto *uniforme* quando percorre spazii eguali in tempi eguali; così una vettura che percorra regolarmente dieci chilometri all'ora si muove di moto uniforme. Quando all'incontro un corpo percorre in tempi eguali spazii sempre più grandi, il suo moto dicesi *accelerato*; se gli spazii percorsi fossero sempre più piccoli, il suo moto direbbesi *ritardato*.

Consideriamo un fanciullo che fa rotolare un cerchio battendolo con una bacchetta. Poichè un primo colpo di bacchetta diede al cerchio una certa velocità, un secondo colpo gli darà nuova velocità, che aggiungendosi a quella già acquistata la raddoppierà. Un terzo colpo la triplicherà, e così via. Se il cerchio non fosse rallentato nel movimento dalla resistenza oppostagli dall'aria e dai varii ostacoli che incontra per via, la sua velocità andrebbe a questa guisa aumentando proporzionalmente al numero dei colpi di bacchetta ricevuti, e se ne ricevesse uno ad ogni secondo [1], la sua velocità dopo un tempo qualunque sarebbe proporzionale al numero di secondi, o più generalmente, al tempo trascorso dal principio del moto. E questa è infatti la legge delle velocità regolarmente accelerate.

Tutti quanti ne sappiamo qualche cosa, poichè più volte siam discesi correndo sopra una strada in pendío. La nostra gravità, che è una forza agente costantemente sopra di noi, accelerava di più in più la nostra velocità, per modo che dopo alcuni istanti eravamo talmente trascinati nostro malgrado, che non potevamo più arrestarci. E questo perchè le forze costanti agiscono analogamente

(1) Dicesi *secondo* la sessantesima parte di un minuto, che alla sua volta è la sessantesima parte di un'ora.

alla bacchetta del fanciullo sul cerchio, con la differenza però che in luogo d'agire a colpi successivi, agiscono in modo continuo.

Non perdendo di vista codesta continuità, ritorniamo, per essere più chiari, all'ipotesi delle successive impulsioni, e siccome possiamo concepire che queste impulsioni si succedano a piccolissimi intervalli, tanto piccoli quanto si può immaginarli, ad intervalli infinitamente piccoli, come dicono i matematici, così la nostra supposizione non si scosterà dal vero che d'una quantità infinitamente piccola, vale a dire ci condurrà a conseguenze vere quanto è possibile. Questi piccoli, piccolissimi intervalli, separeranno fra loro le successive impulsioni ciascuna delle quali avrà luogo in tempi eguali ed infinitamente piccoli, e che diremo *unità di tempo.*

Ammettiamo adunque che un corpo animato di velocità ognor crescente, abbia percorso, nella prima unità di tempo successiva alla sua partenza, uno spazio qualunque, un metro per esempio. Se allora la forza acceleratrice cessasse improvvisamente d'agire sul corpo, e se questi non incontrasse ostacoli, continuerebbe a muoversi, ma con velocità uniforme. Quale sarebbe questa velocità? quanti metri percorrerebbe il corpo nelle unità di tempo successive? Due metri, evidentemente, poichè se con moto accelerato non percorse che un metro nella prima unità di tempo, la sua velocità media, la sua velocità a mezzo della corsa fu d'un metro; e poichè la sua velocità all'istante della partenza era zero, bisogna pure che questa velocità sul finire della corsa sia stata di due metri. Se sapeste che un tale percorse una lega in mezz'ora camminando molto lentamente nel primo quarto d'ora, ne concludereste ch'egli dovette andare assai rapidamente nel secondo quarto d'ora.

Per farla meglio comprendere, poniamo inversamente

la questione. La velocità d'un corpo che da principio era nulla, divenne dopo un certo tempo, ed aumentando poco a poco, capace di fargli percorrere due metri nello stesso tempo, qualora la velocità cessasse d'aumentare. Quanti metri avrà percorsi quel corpo durante la sua corsa? Poichè da zero la sua velocità, con una regolare accelerazione, divenne eguale a due, è precisamente lo stesso come se fosse stata eguale ad uno durante tutto quel tempo. Quindi, durante la sua prima corsa quel corpo si avanzò di un metro.

Al finire della prima unità di tempo, il corpo di cui si tratta si troverà animato da tale velocità, che quand'anche la forza acceleratrice cessasse di agire, pur gli farebbe percorrere 2^m durante la seconda unità di tempo; ma la forza acceleratrice agisce anche durante questa seconda unità di tempo, come agì nella prima, e fa quindi percorrere 1^m al corpo di cui parliamo; in totale ei percorrerà adunque 3^m durante questa seconda unità di tempo.

D'altra parte, conserverà la velocità di 2^m che aveva già acquistata e riceverà dalla forza acceleratrice, che continua ad agire su di lui come nella prima unità di tempo, una nuova velocità, che al termine della seconda unità di tempo sarà di 2^m. La sua velocità adunque in capo alla seconda unità di tempo sarà di 4^m.

Se questa agisse sola, gli farebbe percorrere 4^m nella terza unità di tempo, ma la forza acceleratrice che continua ad agire gli farà percorrere come prima 1^m di più. Egli percorrerà adunque 5^m durante la terza unità di tempo. E la sua velocità, che come abbiam detto era di 4^m al principio di questa terza unità di tempo, in virtù dell'accelerazione aumenterà ancora successivamente di 2^m e finirà coll'essere di 6^m, e così di seguito.

Riassumiamo quanto abbiam detto in un piccolo quadro:

Unità di tempo	1^a,	2^a,	3^a,	4^a,	5^a,	6^a,	7^a,	8^a,	9^a,	10^a
Velocità acquistate alla fine di ciascuna unità di tempo.	2^m,	4^m,	6^m,	8^m,	10^m,	12^m,	14^m,	16^m,	18^m,	20^m
Spazii percorsi in ciascuna unità di tempo.	1^m,	3^m,	5^m,	7^m,	9^m,	11^m,	13^m,	15^m,	17^m,	19^m

Da questo prospetto possiam cavare due conseguenze importanti.

La prima, conforme a quanto abbiam detto parlando del fanciullo che si trastulla col cerchio, si è che nel moto accelerato *le velocità acquistate sono proporzionali ai tempi impiegati ad acquistarle.* E non avete che ad osservare: la velocità acquistata in capo a 3 unità di tempo è 6^m; quale sarà in capo ad un tempo triplo, in capo a 9 unità di tempo? la velocità sarà tripla, sarà di 18^m.

La seconda conseguenza è che *gli spazii totali percorsi da un corpo animato di moto accelerato sono proporzionali* alla somma dei tempi impiegati a percorrerli, moltiplicata questa somma per sè stessa, ovvero sono proporzionali *ai quadrati di questi tempi.* Osserviamo infatti quale sarà lo spazio percorso in 7 unità di tempo.

Lo spazio percorso nella prima unità di tempo sarà 1^m, lo spazio percorso in 7 unità di tempo dovrà essere 7 volte 7, vale a dire 49 volte maggiore, ed il nostro quadro mostra in vero che codesto spazio si comporrà di 1^m, di 3^m, di 5^m, di 7^m, di 9^m, di 11^m e di 13^m, la cui somma importa realmente 49^m.

Ma a che mai, potrete dirmi, ci serviranno tutte queste notizie? Ancora un po' di pazienza e vedrete come da questi noiosi ragionamenti trarremo in gran numero conseguenze interessanti. Lasciateci adunque continuare; saremo brevi.

Dalle due leggi testè indicate risulta che delle tre cose: tempo impiegato, velocità acquistata e spazio percorso, quando una sia conosciuta, si possono tosto trovare le altre due.

Ed infatti, supponiamo anzitutto che si conosca il tempo impiegato, e che esso, se il volete, sia di 5 unità di tempo. Quale sarà la velocità acquistata? Poichè per un' unità di tempo la velocità è di 2^m, per 5 unità di tempo essa sarà 5 volte maggiore, vale a dire di 10^m. *Essendo dunque conosciuto il tempo trascorso, si determina la velocità moltiplicando la cifra esprimente questo tempo per quella esprimente la velocità acquistata al termine della prima unità di tempo.*

Quale sarà lo spazio totale percorso? In base alla seconda legge trascritta più sopra, poichè lo spazio percorso durante la prima unità di tempo è di 1^m, lo spazio percorso nelle 5 unità di tempo, sarà 25 volte maggiore, e quindi 25 volte 1. Dunque *conoscendo il tempo trascorso, si trova lo spazio percorso moltiplicando per sè stessa la cifra esprimente questo tempo, e moltiplicando poscia codesto prodotto pel numero esprimente la lunghezza dello spazio percorso durante la prima unità di tempo.*

Consideriamo ora il caso in cui sia conosciuta la velocità. Supponiamola di 16^m. Quale sarà il tempo trascorso dall' istante in cui il corpo soggetto all' azione d'una forza acceleratrice avrà principiato a mettersi in movimento?

Poichè questo corpo acquistò nella prima unità di tempo una velocità di 2^m, per acquistar quella di 16^m, che è 8 volte maggiore, avrà dovuto impiegare un tempo 8 volte maggiore, vale a dire 8 volte 1, ossia 8 unità di tempo. Dunque *conoscendo la velocità d'un corpo, si determina da quanto tempo esso sia in moto dividendo la cifra che esprime detta velocità per la cifra esprimente la velocità acquistata dal corpo in capo alla prima unità di tempo.* E quale sarà lo spazio totale percorso? Conosciuto che sia il tempo, è

pur conosciuto, è pur noto lo spazio percorso, perchè come abbiam veduto, basta in tal caso moltiplicare per sè stessa la cifra esprimente il tempo e moltiplicar quindi questo prodotto pel numero esprimente lo spazio percorso durante la prima unità di tempo.

Supponiamo, per ultimo, che sia dato lo spazio totale percorso, supponiamolo di 64^m: quale sarà stato il tempo impiegato a percorrerlo? In forza della seconda legge, lo spazio di 1^m percorso durante la prima unità di tempo sta a 64^m come il quadrato di 1 sta al quadrato del tempo che si cerca. Basta conoscere la teoria aritmetica delle proporzioni, insegnata in tutte le scuole, per sapere che questo quadrato è 64. Ma se il quadrato del tempo che si cerca è 64, il tempo che si cerca sarà espresso da un numero che moltiplicato per sè stesso dia 64, e questo numero è 8. Il corpo in movimento dovette adunque, onde percorrere 64^m, viaggiare durante 8 unità di tempo. Quindi *dato che sia lo spazio percorso, si trova il tempo impiegato a percorrerlo dividendo il numero che esprime questo spazio per quello esprimente lo spazio percorso durante la prima unità di tempo ed estraendo la radice quadrata da questo quoziente.* Per trovare la velocità acquistata dal corpo, dopo che percorse lo spazio dato, bisogna in prima, come abbiamo fatto testè, cercare il tempo impiegato dal corpo a percorrerlo, e conosciuto che sia questo tempo sappiamo già come se ne deduca la velocità.

Facciamo ora alcune applicazioni di queste regole, ma diciamo anzitutto che per maggior semplicità, abbiam presa un'unità di tempo qualsiasi ed arbitrariamente deciso che ogni corpo animato di moto accelerato percorre precisamente un metro durante la prima unità di tempo. D'ora in avanti prenderemo il minuto secondo per unità di tempo e terremo bene in mente il fatto dimostrato dall'esperienza che quando l'accelerazione è dovuta alla gravità, i corpi

percorrono 4^{m},903 durante il primo secondo della loro caduta.

Ciò non cangia per nulla le regole da noi poste più sopra. Il piccolo quadro che abbiam dato e che mette in vista le velocità acquistate e gli spazii percorsi in ciascuna unità di tempo od in ciascun secondo è ancora esatto; convien soltanto moltiplicare per 4,903 tutte le cifre inscritte nelle ultime due sue linee. Così, ad esempio, un corpo che cade liberamente percorre nel settimo secondo tredici volte metri 4,903, cioè metri 63,739, e durante i sette secondi ei percorse quarantanove volte metri 4,903, ovvero metri 240,247.

Portiamoci ora alla bocca d'un pozzo di miniera o di un precipizio di cui si voglia conoscere la profondità. Gettiamovi un sasso: questo sasso cadrà con moto accelerato. Il tonfo che farà giungendo al fondo ci permetterà di renderci conto, col sussidio d'un orologio a secondi, del tempo che avrà impiegato a cadere. Se questo tempo è di 8 secondi moltiplicheremo il quadrato di 8 che è 64 per metri 4,903, e troveremo a questo modo che la profondità di quel pozzo o di quel precipizio è di metri 313,792. Non vi sembra meravigliosamente bello che con un oriuolo si possa misurare lo spazio?

Abbiam rammentato più sopra che scendendo alla corsa lungo un forte pendío si è trascinati, senza volerlo, con velocità che può finire coll'essere pericolosa. Per trovare il valore di codesta velocità al termine della discesa, è mestieri rintracciare quella che avrebbe acquistato un corpo cadendo liberamente da un'altezza eguale a quella del pendío, e, per una ragione che spiegheremo in appresso, convien poi moltiplicare il numero esprimente codesta velocità per quello esprimente l'altezza del pendío, e dividere questo prodotto pel numero esprimente la lunghezza di detto pendío.

Le strade nei paesi montuosi hanno talvolta pendenze che giungono persino a 0,25 per metro, od in altri termini, formano un piano inclinato la cui altezza è la quarta parte della lunghezza. Vediamo un po' qual velocità acquisterebbe una vettura scendendo per 600 metri sopra siffatta pendenza, supponendo che i cavalli trattenuti dal vetturino non abbiano menomamente contribuito a farla discendere. Trattasi d'un piano inclinato lungo 600^m ed alto 150^m. Calcolando nel modo indicato si trova che questa vettura giungendo al basso del pendío avrebbe una velocità di $13^m,559$, velocità comparabile a quella dei convogli delle ferrovie e che farebbe passar la vettura per di sopra ai cavalli, ch'essa schiaccierebbe per andar poi a rompersi alla sua volta contro il primo ostacolo che le si parerebbe dinanzi.

Da ciò si comprende quanto sia utile nelle discese il chiudere i freni onde impedire alla vettura d'acquistare velocità troppo grande. Mercè i freni che son pezzi di legno applicati vigorosamente contro le ruote, queste cessano di girare, strisciano sulla strada, e codesto strisciamento può esser tale che anco staccando i cavalli sopra un rapido pendío, la vettura può rimanere immobile. Se continuasse a discendere, la discesa non accadrebbe più con la velocità accelerata d'un corpo cadente liberamente, ma soltanto in virtù della forza di trazione che sovr'essa eserciterebbero i cavalli, forza che si modera a piacere, e che le imprimerebbe una velocità ben diversa dall'eccessiva velocità che senza i freni essa avrebbe inevitabilmente concepita.

Il livello dei fiumi è in pendío, ed è per questo che scorrono in essi le acque. Senza il pendio le acque stagnerebbero come quelle delle paludi; esse adunque scorrono sovra un piano inclinato; e perchè mo' non acquistano velocità accelerata, e perchè la velocità del Po, ad esempio,

non è più grande a Cremona che a Torino? Perchè l'attrito delle acque contro le terre o le rocce, che costituiscono il fondo e le sponde dei fiumi, esercita riguardo ad essi un'azione analoga a quella del freno nelle vetture.

I fiumi sembrano scorrere con moto continuo, ma ciò non è; basta esaminarli dappresso per accorgersi come ad ogni istante gli attriti oppongono ostacolo al moto delle acque. L'onda impedita forma quasi una piccola diga dietro alla quale si innalza l'acqua sopraveniente fino a che vincendo l'ostacolo la scaccia dinanzi a sè; ma questo moto è di breve durata. Ben presto interviene di bel nuovo a spegnerlo l'attrito; di lì a poco però il moto si riproduce a causa della nuova acqua che scende, e così il corso dei fiumi succede a scosse e ad intervalli, ed è questa la causa principale che ne impedisce l'accelerazione. Collocando un ciottolo sulla spiaggia, precisamente a fior d'acqua, lo vedreste coprirsi d'acqua e nell'istante successivo rimanere a secco, il che prova evidentemente l'intermittenza di cui abbiamo parlato.

L'industria umana imitò quest'artificio della natura, principalmente nell'orologeria. Il peso che fa andare le ruote imprimerebbe ad esse discendendo un moto accelerato, una velocità ognor crescente, che renderebbe impossibile la necessaria regolarità dei movimenti. Per impedir ciò, si adatta agli orologi un pezzo di forma particolare detto *scappamento*, che arresta sul colpo, ad ogni secondo all'incirca, tanto il peso motore quanto le ruote. Per effetto dell'azione del bilanciere, che mai si arresta e con un mezzo che non è il luogo di spiegarvi, lo scappamento cessa dopo brevissimo intervallo d'impedire il giuoco della macchina. Le ruote si rimettono in movimento ed il peso ricomincia a discendere. Questa discesa succede è vero di moto accelerato, ma quest'accelerazione, cui del resto è concesso un tempo assai breve, vien rallentata dagli attriti

dei perni e degli ingranaggi e risulta quindi pressochè insensibile. Similmente all'acqua dei fiumi, l'indice degli orologi progredisce soltanto a sbalzi. Ognuno di quei piccoli movimenti è più rapido quando sta per finire che non quando sta per incominciare. Ciò però non produce il menomo inconveniente; l'importante si è che questi successivi movimenti non sieno più rapidi gli uni degli altri e succedano tutti in tempi eguali.

Minori precauzioni si hanno riguardo al peso che fa andare la suoneria; e siccome esso non tende a discendere continuamente come quello che fa andare gl'indici, ma scende soltanto quando l'orologio batte le ore, e siccome è facile distribuire i denti che sollevano il martello della suoneria in guisa da correggere gl'inconvenienti dell'accelerazione, ed a fare che i colpi si succedano ad intervalli pressochè eguali, così si provvede soltanto a diminuire l'accelerazione mediante un freno. Questo freno però non agisce direttamente per attrito come quello delle vetture, poichè le parti soffregantisi si logorerebbero in breve rendendo necessarie frequenti riparazioni. Detto freno si compone di un mulinello, le cui ali girando colpiscono l'aria; la resistenza dell'aria basta qui ad impedire l'accelerazione nella discesa del peso. — Analogo è il freno che allo stesso scopo si adopera nei girarrosti che funzionano nelle buone cucine.

In meccanica le forze si utilizzano per due scopi diversi che non bisogna confondere: o per creare movimento o per mantenerlo.

Quando non si tratti d'altro che di mettere corpi in movimento, le forze non agiscono che una volta per sempre; ad esempio, la polvere da cannone che cessa d'agire tosto che la palla è lanciata. Sappiamo che il movimento impresso da questo genere di forze, dette *istantanee*, è un movimento uniforme, che continuerebbe eternamente senza

nè rallentarsi nè accelerarsi qualora nulla intervenisse ad impedirlo. Ciò però non accade giammai. Ogni corpo messo in movimento da una forza istantanea, essendo continuamente ritardato nel proprio moto dagli ostacoli che incontra, si arresta sempre più o meno presto. Per conservargli un moto uniforme è adunque necessario che oltre alla forza impulsiva, che superando la sua inerzia lo mise dapprincipio in movimento, un'altra forza agisca continuamente sopra di lui per imprimergli ad ogni istante impulsioni novelle che gli facciano vincere gli ostacoli che tenderebbero a rallentarlo.

Quando un convoglio passa dinanzi a voi sulla ferrovia, vi ingannereste assai credendo che il suo movimento sia dovuto allo sforzo attuale della locomotiva. Se il convoglio non incontrasse ostacoli, potrebbe benissimo su ferrovia piana andare senza locomotiva. La locomotiva non ha altro scopo nel corso del viaggio che quello di impedire che la velocità precedentemente acquistata dal convoglio abbia a rallentarsi. È perciò che essa fatica ora più ora meno, a seconda che le resistenze da vincere son più rilevanti o più numerose; sono molto maggiori, ad esempio, nelle salite, molto minori e talvolta anco nulle nelle discese.

Se la forza costante avente per iscopo di riparare le perdite di movimento provate ad ogni istante da una macchina è troppo o troppo poco energica, la macchina assume un moto accelerato o ritardato che si procura distruggere mediante un *regolatore.*

Nell'orologeria non si può in nulla cangiare la forza costante che agisce sopra le ruote, poichè questa forza è la gravità d'un peso di piombo o di ferro; tuttavia dovendo regolare l'azione della macchina, si opera sulle resistenze mediante lo scappamento che ad ogni istante crea o distrugge un ostacolo al moto. Avviene l'opposto nelle

macchine ordinarie; in queste le resistenze son quel che sono e raramente si possono far variare. Una macchina deve, ad esempio, sollevar fardelli; è chiaro che mentre questi salgono non è possibile aumentarne o diminuirne il peso per impedire alla macchina di acquistare o perdere velocità; bensì è sempre possibile modificare l'intensità della forza agente sulla macchina stessa. Si idearono a tale scopo molti congegni ingegnosissimi. Il più semplice si è d'incaricare un uomo di distribuire la forza in ragione degli ostacoli da vincersi, a seconda dei casi; aprendo, ad esempio, più o meno la *paratoia*, vale a dire, la porta a gargame per cui passa l'acqua cadente sopra le ruote d'un mulino, ovvero il rubinetto che permette l'ingresso del vapore nei cilindri d'una locomotiva. In molti casi però si affida quest'incarico alla stessa macchina, il cui movimento non può allora nè accelerarsi nè ritardarsi senza mettere in giuoco speciali apparecchi che ristabiliscono l'uniformità del movimento, diminuendo od aumentando l'azione della forza di cui si dispone. Ne vedrete un esempio interessantissimo quando parleremo delle macchine a vapore.

CAPITOLO VI.

Il moto ritardato. — Il pendolo. — L'attrito.

Diciamo ora qualche cosa intorno al moto contrariato, non da un ostacolo accidentale, ma dall'azione continua ed uniforme d'una forza ritardatrice.

Forse avrete udito parlare d'un divertimento, ormai passato di moda, e che era detto *discesa delle montagne russe.* Si entrava in un piccolo vagone che scorreva lungo un piano inclinato: giunti al basso del pendio, se ne tro-

vava un altro in senso inverso, lungo il quale il vagone risaliva fino ad una certa altezza. Nella discesa, il moto era sempre più rapido; all'incontro, risalendo, la velocità andava a poco a poco spegnendosi.

E perchè si risaliva? si risaliva per la sola ragione, che quando un corpo è in moto, purchè nulla vi si opponga, ei continua a muoversi conservando sempre la stessa velocità.

È ben vero che nel caso di cui trattasi s'incontrava un ostacolo al moto, vale a dire la salita che dovevasi superare, ma quest'ostacolo non essendo tanto grande da arrestare bruscamente il vagone, ne rallentava però a poco a poco la velocità. Quando diciamo che la salita ch'ei doveva superare era l'ostacolo incontrato dal vagone, non parliamo a rigor di termini; quest'ostacolo era il proprio peso, l'attrazione esercitata sopra di lui dal globo terrestre. È la stessa attrazione che lo aveva costretto a discendere sempre più presto, lo obbligava a risalire sempre più lento.

La gravità che agisce come forza acceleratrice sopra i corpi che si avvicinano alla Terra, agisce invece come forza ritardatrice sopra quelli che se ne allontanano. La sua maniera d'agire è la stessa in entrambi i casi. Se impiegò 6 secondi a generare una certa velocità, le abbisogneranno del pari 6 secondi per distruggerla. Se un corpo impiegò un certo tempo per discendere da una certa altezza, impiegherà lo stesso tempo a risalire a quell'altezza. Se discendendo ei percorse successivamente in ogni secondo 1, 3, 5, 7, 9 metri, nella salita ne percorrerà 9, 7, 5, 3, 1; si arresterà per un istante infinitamente breve per ridiscendere lo stesso pendío così superato, per poscia risalire di bel nuovo lungo quello sul quale era disceso dapprima; e continuerebbe eternamente in queste alternate discese e salite, se gli attriti e la resistenza dell'aria, cose delle

quali non abbiamo tenuto calcolo, non venissero in aiuto alla forza ritardatrice della gravità, impedendo al corpo di mai risalire ad altezza eguale a quella da cui è disceso.

I getti d'acqua ci danno un esempio dell'azione delle forze ritardatrici. L'acqua che discende da un serbatoio superiore è animata d'una velocità dovuta all'altezza dell'acqua in detto serbatoio. Questa velocità fa zampillare l'acqua con forza dal tubo che la contiene, sul qual tubo essa si erge in getto brillante. Ma la gravità va mano mano spegnendo codesta velocità, tanto che l'acqua giunta che sia ad una certa altezza, si ferma per ricadere in pioggia nel bacino destinato a riceverla.

Gli attriti dell'acqua nei tubi di condotta e la resistenza dell'aria, fan sì che il getto d'acqua non possa superare i nove decimi all'incirca dell'altezza che ha l'acqua contenuta nel serbatoio sopra l'orifizio da cui scaturisce il getto.

Cerchiamo un altro esempio dell'azione delle forze ritardatrici. Sospendiamo un filo al solaio d'una stanza, ed all'estremità libera del filo sospendiamo una palla di piombo, di ferro, o d'altra materia molto densa, o come dicesi volgarmente, molto pesante. Non imprimendo alcun movimento a questo piccolo apparecchio, esso indica la *verticale*, cioè, come abbiamo già detto, la direzione d'una linea retta che passerebbe pel centro della nostra palla e pel centro della Terra. Quando ci serve a quest'uso lo si dice *filo a piombo* o *piombino*, e lo si chiama *pendolo* quando serve all'uso che diremo adesso.

Imprimiamo un leggiero impulso alla palla del pendolo. Essa si scosterà dalla posizione primitiva, ma essendo trattenuta dal filo, e non potendo quindi muoversi in linea retta, si alzerà descrivendo un arco di cerchio; non tarderà però molto ad arrestarsi; subito dopo, in virtù del proprio peso, discenderà con crescente velocità, e giunta al punto più

basso della sua corsa, la continuerà, risalendo con velocità ognor più tenue, giungendo però ad altezza alquanto minore di quella cui era giunta prima dall'altra parte. La palla ridiscenderà e risalirà alternatamente come il vagone sulle *montagne russe*, con la differenza che in luogo di scorrere sopra una pendenza ed una contropendenza, percorre, sostenuta dal filo, due archi di cerchio, l'uno a destra, l'altro a sinistra della verticale. Il moto ch'essa effettua nel percorrere quei due archi dicesi un'*oscillazione*.

Principalmente in virtù della resistenza dell'aria, le oscillazioni vanno sempre decrescendo, come abbiam veduto, di grandezza o d'*amplitudine*, fino a che per ultimo cessa il movimento ed il filo riprende la primitiva direzione verticale. E, cosa che potrà sembrarvi strana, queste oscillazioni, purchè non sieno molto ampie, son tutte della stessa durata; ciò si spiega riflettendo che quando la palla percorre grandi archi, li percorre con grande velocità, perchè cade da altezze maggiori relativamente a quelle da cui cade quando le oscillazioni diminuiscono d'amplitudine, ed allora gli archi, che divengon più piccoli, sono da essa percorsi con minor velocità. Quest'eguaglianza nella durata delle oscillazioni del pendolo dicesi *isocronismo*.

Per uno stesso pendolo tutte le oscillazioni sono isocrone; ciò però non si verifica in pendoli di lunghezze diverse. Supponiamo che dalla vôlta d'un grande edificio penda una corda, cui sia sospesa una lampada. Questo complesso costituirà un pendolo, e se una causa qualunque mette la lampada in movimento, essa oscilla nello spazio. Osservo il mio oriuolo, e trovo che ciascuna di quelle oscillazioni dura otto secondi: sapendo allora ad esempio che il centro di gravità della lampada si trova all'altezza di dieci metri sopra il suolo, ne concludo che la vôlta dalla quale pende la lampada ha l'altezza di $73^m,58$.

E perchè ho saputo dirvi questo numero, direte forse che sono uno stregone? No, non ve ne furono nè ve ne saranno giammai, e neppur io lo sono; so però che le lunghezze dei pendoli ineguali sono proporzionali ai quadrati dei tempi impiegati da questi pendoli nel compiere un'oscillazione. So inoltre che a Milano le oscillazioni d'un pendolo lungo $0^m,9935$ durano precisamente un secondo. Ciò posto eccovi il ragionamento da me fatto: il quadrato di un secondo è 1: il quadrato di 8 secondi, che è il tempo impiegato dalla lampada per compiere un'oscillazione, è 64; quindi la lunghezza della corda, dal centro di gravità della lampada, è 64 volte maggiore di 0,9935, e dunque sarà di $63^m,58$. Aggiungendo a questa lunghezza i 10 metri, che sono la distanza dal centro della lampada al suolo, avrò la distanza fra il suolo e la vôlta. Vedete un po': la cognizione delle leggi della gravità, che già ci servì a misurare la profondità d'un precipizio, ci serve ora a misurare l'altezza d'un monumento! Non è bella la scienza?

Nelle opere delle nazioni antiche, nei libri dei greci e dei romani, si fa spesso menzione di misure usitate a quei tempi, e siccome non si poterono rinvenire le misure originarie, così non possiam fare che semplici congetture intorno alle vere dimensioni degli edifici ed intorno alle distanze di cui è parola in quegli scritti. Supponete un po', come caso impossibile, che i Cosacchi vengano a distruggere la nostra civiltà, come in altri tempi i barbari del settentrione distrussero la civiltà romana: ebbene, purchè dopo si sappia ancora che il pendolo lungo $0^m,9935$ batte i secondi a Milano, vale a dire che un pendolo così lungo compie un'oscillazione nella 86400^{sima} parte del tempo che la Terra impiega nel fare una completa rivoluzione intorno a sè stessa, sarà sempre possibile ritrovare l'esatta lunghezza del nostro metro e col metro tutte quante le nostre misure.

Abbiam parlato del pendolo che impiega un secondo per compiere a Milano una oscillazione. Forse che altrove si muoverebbe più lento o più veloce? Ma quando la palla del pendolo si è scostata dalla verticale, chi ve la riconduce? Evidentemente è la gravità, è l'attrazione che esercita sovr' essa la Terra. Poichè adunque codesta attrazione aumenta avvicinandosi, e diminuisce allontanandosi dal centro della Terra, uno stesso pendolo oscillerà sotto una stessa latitudine più rapido in riva al mare che a Milano, e più rapido a Milano che sovra un' alta montagna, il che vien comprovato dall' esperienza.

La durata delle oscillazioni del pendolo può adunque servire a misurare l' elevazione dei diversi punti del globo; e siccome si è osservato che allontanandosi dall' equatore la durata delle oscillazioni va mano mano diminuendo, così si è concluso che la Terra è schiacciata verso i poli, e si potè ottenere la misura di questo schiacciamento, che d'altronde è ben poca cosa rispetto al diametro del nostro pianeta. Quest' esempio non è forse bastante per mostrarci quanto sia importante lo studio delle leggi del movimento? Questo studio non è indispensabile soltanto all'industriale che deve guidare le macchine; esso rende segnalati servigi alla geografia e serve di base all' intero edificio su cui poggia tutta l' astronomia, alla quale appunto perciò si diede il nome di *meccanica celeste.*

A quest' ora abbiam già parlato molto d'attrito; è tempo di darvene qualche nozione precisa.

Quando vi ha contatto fra due corpi, l'uno dei quali sia in riposo e l'altro in moto, od entrambi in moto, ma animati da diversa velocità, si sviluppa attrito. Abbiam già detto che l' attrito ha per effetto di logorare le parti a contatto, staccandone successivamente minute particelle. Per staccarle si esige un certo sforzo, e quindi necessariamente un dispendio inutile di forza, che vuol essere di-

minuito quanto più è possibile, e del quale è necessario per conseguenza ben apprezzare l'importanza.

Supponiamo che sopra un lungo tavolo di legno perfettamente liscio si collochi un pezzo di legno caricato da un peso tale, che in complesso legno e peso pesino 100 chilogrammi. Attacchiamo al legno una cordicella che passerà poi sopra una puleggia fissata all'estremità del tavolo, ed al capo libero di detta corda si sospenda un peso. Quale dovrà essere questo peso, affinchè discendendo continui a trascinare il legno dopo che lo avremo messo in movimento con la mano forzandolo a sdrucciolare sulla tavola?

Rammentiamo anzitutto che vinta dapprincipio l'inerzia, non sarebbe più necessaria alcun'altra forza per mantenere in moto quel pezzo di legno qualora egli non incontrasse ostacoli. Se a mantenere il movimento è necessaria l'azione d'un peso, ciò è soltanto perchè al movimento si oppone l'attrito. Si potrà adunque prendere quel peso come l'espressione della forza necessaria a vincere l'attrito.

L'esperienza mostra che codesto peso varia secondo la natura dei corpi che si soffregano l'un l'altro, ed esso è in media trattandosi di

legno contro legno senza l'interposizione di alcuna sostanza grassa di . . . . . . chilogr. 36
ferro o rame strisciante sopra legno nelle stesse condizioni . . . . » 40
ferro strisciante a secco sopra rame o bronzo » 18
ferro strisciante sopra bronzo coll'interposizione di sostanza untuosa . . . . » 7

Si vede adunque che la resistenza dovuta all'attrito può assorbire inutilmente una forza equivalente a circa tre ottavi, a due quinti, ad un sesto, o soltanto ad un quattordicesimo del peso del corpo strisciante. Ciò mostra chia-

ramente quanto importi evitare od almeno diminuire gli attriti nel giuoco delle macchine.

L'asse d'una ruota si soffrega nella scatola in modo analogo ad una slitta che guernita inferiormente di liste di ferro strisciasse sopra rotaie. A che giova adunque, ci si dirà, impiegare le vetture in luogo delle slitte? Vedrete subito che non è senza buona ragione che alle vetture si dà la preferenza.

Supponiamo due rotaie convenientemente unte e disposte sopra un tavolo, in capo al quale, come nella precedente esperienza, sia fissata una puleggia: sovra la puleggia faremo passare una fune; un'estremità della fune sarà attaccata ad una slitta di ferro o di bronzo, pesante col suo carico 100 chilogr., mentre l'altra estremità sarà gravata da un peso di 7 chilogr., che, per quanto abbiam detto, sono bastanti a mantenere la slitta in movimento. È evidente che se questo peso discenderà di un metro, anche la slitta avrà progredito di un metro. Se allora questo peso tocca terra, e se vogliamo continuare l'esperienza, dovremo sollevarlo all'altezza della tavola. Dunque, quante volte vorremo far progredire di un metro la slitta, tante volte dovremo spendere la forza necessaria per sollevare all'altezza d'un metro un peso di 7 chilogrammi.

Sostituiamo ora alla slitta un vagone dello stesso peso, le cui ruote abbiano un metro di diametro. Ad ogni giro delle ruote gira pure il loro asse strisciando nella sua scatola. Se la circonferenza della scatola è di $0^{m},166$, l'asse in un giro avrà percorsa strisciando la lunghezza di $0^{m},166$. Sarà adunque mestieri che la ruota compia 6 giri prima che l'asse abbia percorsa strisciando la lunghezza d'un metro.

Ma durante quei sei giri della ruota, di quanto avrà progredito il vagone? È evidente che quando una vettura è in moto, ciascun punto della circonferenza della sua ruota

viene ad appoggiarsi successivamente sul suolo, e per conseguenza la vettura va avanti per una lunghezza eguale a questa circonferenza. Le ruote del nostro vagone hanno 3^m,141 di circonferenza: quindi nei sei giri delle ruote si andrà innanzi metri 18,846.

Dunque la stessa forza rappresentata dai 7 chilogr., che discendendo dall'altezza d'un metro fece avanzare di un metro soltanto la slitta, farà avanzare il vagone d'una lunghezza pressochè 19 volte maggiore; quindi la resistenza risultante dal girare dei perni è 19 volte minore di quella che risulta dallo scivolamento sopra una superficie piana; quindi in conclusione, se un vagone trascinato da un cavallo si trasformasse improvvisamente in slitta, sarebbe necessario a trascinarla un rinforzo di 18 cavalli. Ciò basta a provarvi l'enorme vantaggio risultante dall'impiego delle vetture pel trasporto di pesi.

I freni che, arrestando le ruote, impedendo ad esse di girare, le obbligano a strisciare sulle rotaie, trasformano in vero i vagoni in slitte, e per conseguenza rendono 19, 20 volte, e persino, a seconda del rapporto esistente fra il diametro delle ruote e quello degli assi, 30 volte più considerevoli le resistenze che si oppongono al moto dei convogli.

Il numero delle ruote non influisce per nulla sulla grandezza di queste resistenze, poichè con esso varia soltanto la grandezza delle superfici poste a contatto, ed è provato dall'esperienza che la grandezza di queste superfici, come pure la loro velocità, non aumenta nè diminuisce per nulla l'attrito, il quale è soltanto proporzionale al peso di cui sono caricate.

CAPITOLO VII.

Misura delle forze.

Le forze, come tutti comprendono, possono essere più o meno grandi. Come tutte le cose più o meno grandi, anche le forze sono misurabili. — Chi dice forza dice causa; e siccome non si può giudicare d'una causa che dagli effetti ch'essa produce, e siccome non la si può misurare che per la grandezza de' suoi effetti, così importa anzitutto di ben rendersi conto di ciò che sotto al rapporto del più e del meno possono produrre le cause.

Un uomo può portare due sacchi di grano sulle spalle, mentre un altro può portarne uno solo, e subito concludete che il primo è più forte del secondo. Forse il vostro giudizio è troppo repentino. Quel vostro Ercole non può trasportare i suoi due sacchi che a venti passi dal luogo in cui li ha presi, e il suo compagno che ne porta uno solo lo sa portare ad un chilometro. Non potrete negare che questi lavora più del suo concorrente e mostra di avere forza maggiore. Per giudicare dunque della grandezza d'una forza non basta tener conto del peso sollevato o trasportato, mà benanco dell'altezza o della distanza a cui esso venne sollevato o trasportato.

E non basta ancora: due uomini portano ciascuno un sacco di grano in granaio: non affrettatevi a concludere che entrambi hanno la stessa forza. L'uno impiegò 5 minuti e l'altro 15; evidentemente il primo è più forte del secondo. È bensì vero che il risultato conseguito da entrambi è lo stesso, poichè entrambi trasportarono lo stesso peso alla stessa altezza, ma non è forse chiaro che se il primo dei due uomini il volesse, il risultato sarebbe di-

verso? Mentre il camerata sta ancora salendo le scale col suo carico, egli, dopo aver deposto il suo, potrebbe discendere e portare un secondo sacco di grano, e potrebbe così nello stesso tempo fare un lavoro doppio e fors'anche triplo. Dunque il lavoro che può eseguire è la vera misura della sua forza.

La resistenza vinta, lo spazio percorso, il tempo impiegato a percorrerlo: ecco i tre elementi che debbonsi assolutamente considerare volendo rendersi conto della grandezza d'una forza, ed invitiamo il lettore a figgersi bene in mente questo principio se vuol comprendere quanto ci resta a dire.

Per misurare panno, distanze, pesi, ecc., si confronta la cosa che vuolsi misurare con una certa lunghezza, con un certo peso, ecc., scelti arbitrariamente, ma invariabili. Per noi, italiani, il tipo di confronto, l'unità di misura, è il metro per le lunghezze; il chilogrammo pei pesi. E così pure si dovette scegliere, per misurare le forze, una forza che fosse sempre la stessa, alla quale si potessero riferire tutte le altre. Questa forza è quella che convien sviluppare onde sollevare un chilogrammo all'altezza d'un metro in un minuto secondo. A questa forza-tipo si diede il nome di *chilogrammetro*.

Talvolta udrete discorrere di un altro termine di confronto, di un'altra unità di misura, il *cavallo-vapore;* ebbene, esso rappresenta 75 chilogrammetri, ovvero la forza necessaria a sollevare 75 chilogrammi all'altezza di un metro in un secondo.

E perchè proprio 75 chilogrammi? perchè quando sul finire dello scorso secolo si inventarono le macchine a vapore, esse furono principalmente impiegate ad estrarre il carbon fossile dal fondo delle miniere, e si dissero macchine della forza di 20, 30, 40 cavalli quelle che facevano lo stesso lavoro che prima d'allora richiedeva l'impiego

d'un pari numero di cavalli. Ed allora si riconobbe che quelle macchine sollevavano 20, 30, 40 volte 75 chilogrammi di carbone all'altezza di un metro in un secondo, e se ne concluse che un cavallo poteva innalzare 75 chilogrammi in un secondo all'altezza di un metro. E questa è in fatto la forza d'un cavallo molto robusto; ma siccome il cavallo ha bisogno di riposarsi, mentre la macchina può lavorare giorno e notte, così si ingannerebbe assai colui che credesse poter sostituire cento cavalli vivi ad una macchina della forza di cento cavalli-vapore. Ce ne vorrebbero all'incirca tre volte tanti.

La condizione essenziale cui deve soddisfare un'unità di misura è la sua invariabilità. Si potrebbe quindi censurare la scelta fatta per l'unità di misura delle forze, giacchè, come abbiamo veduto, lo sforzo che devesi fare per sollevare un chilogrammo varia a seconda che lo sforzo si fa in riva al mare o sopra un'alta montagna, presso ai poli o presso l'equatore. Ciò è vero realmente, ma tali differenze sono tanto piccole che si può trascurarle senza alcun inconveniente, e considerare la gravità, l'attrazione terrestre, come una forza invariabile.

Non tutte le forze hanno l'effetto di sollevar pesi. Come potremo allora compararle allo sforzo, necessario a sollevare in un secondo, un chilogrammo all'altezza di un metro? Lo si può sempre e ne abbiam già dato un esempio parlando delle resistenze dovute all'attrito, e ne esporremo degli altri quando avremo da misurare la forza delle differenti macchine.

Riassumiamo, per viemmeglio imprimerlo nella mente del lettore, quanto abbiam detto intorno ai risultati, o ciò che è lo stesso, intorno alla grandezza delle forze.

La grandezza dell'ostacolo vinto e, nel caso particolare che ci occupa, l'importanza del peso sollevato, non basta a determinare la grandezza d'una forza. Se ne può concludere soltanto ciò che diremo la sua *potenza*.

Per apprezzarla interamente, bisogna pur tener conto dell'altezza a cui il peso venne sollevato e del tempo impiegato a sollevarlo, vale a dire della *velocità* del movimento ascensionale impresso al peso. È noto che la velocità è lo spazio percorso in un secondo, e che dicendo: la velocità d'un convoglio è di 12 metri, si intende che in ciascun secondo il convoglio percorre 12 metri, ovvero 43 chilometri e 200 metri all'ora.

I tre elementi che, come dicevamo testè, debbono esser considerati volendo giudicare della grandezza d una forza possono quindi ridursi a due: la potenza e la velocità. Queste due cose sono legate fra loro in modo tale che rimanendo eguale la forza, l'una non può aumentare senza far subire una proporzionata diminuzione all'altra, e viceversa. Sono come i due *fattori* il cui prodotto è la forza. Così una forza bastante a sollevare un chilogrammo con la velocità d'un metro potrà bensì sollevarne 10, ma con velocità dieci volte minore, e così pure essa potrà generare una velocità 100 volte maggiore, sollevando però un peso 100 volte minore.

Una macchina solleva 12,000 chilogrammi all'altezza di 36 metri in 10 minuti, quale ne sarà la forza? Essendovi 600 secondi nei 10 minuti, in un secondo essa solleverà un peso 600 volte più leggero, ovvero 20 chilogrammi. Ma se in luogo di sollevare questi 20 chilogrammi a 36 metri, essa non li sollevasse che ad un metro, potrebbe sollevare un peso 36 volte più grande, vale a dire 720 chilogrammi. La forza della macchina sarà dunque di 720 chilogrammetri.

Essendo che l'effetto prodotto da una forza è una potenza ed una velocità, ed essendo queste due cose talmente solidali l'una dell'altra che non cangiando la forza, l'una non può divenire doppia, tripla, quadrupla, ecc., senza che l'altra divenga due, tre, quattro, ecc., volte più piccola,

se ne concluse il seguente principio fondamentale in meccanica, che *quanto si guadagna in potenza si perde in velocità*, e reciprocamente che *quanto si guadagna in velocità va perduto in potenza.*

Diciamo che questo principio è fondamentale, ed infatti esso solo basterà a renderci ragione dell'azione delle principali macchine. Possiamo adunque, purchè non lo si perda di vista, abbandonare il campo delle considerazioni generali ed entrare in quello delle questioni più specialmente pratiche.

PARTE SECONDA

APPLICAZIONI PRATICHE DELLA MECCANICA

CAPITOLO PRIMO.

La leva. — La bilancia. — La stadera, ecc.

La prima parte di questo nostro lavoro è stata specialmente teorica, questa sarà specialmente pratica. Questa divisione però non deve confermare il lettore nell'opinione, anche troppo generalmente diffusa, che la pratica e la teoria sieno due cose distinte, due cose che possano essere completamente separate l'una dall'altra. Per quanto si faccia, non sarà mai possibile trattare di teoria e di pratica assolutamente pure. Quando i matematici mi dicono che i triangoli in generale hanno tali e tali proprietà, io non posso a meno di fare mentalmente l'applicazione di ciò ch' essi m' insegnano a qualche triangolo particolare. L' operaio che non fu mai a scuola, e che perciò crede non avere alcuna teoria, si inganna molto. Egli segue regole che gli furono suggerite dall'esperienza; ha una teoria, incompleta è vero ed oscura, senza la quale però ei nulla farebbe di buono.

La questione di sapere se convenga dar la preferenza alla teoria od alla pratica è assurda, poichè qualora queste due cose potessero esistere l'una senza l'altra, non avreb-

bero valore alcuno. A che gioverebbero le regole quando non si sapesse applicarle? A che servirebbe un lavoro che non avesse per guida alcuna regola? Dividendo, come abbiam fatto, in due parti quest'esposizione elementarissima della scienza delle forze, abbiam voluto indicare unicamente che nell'una domina la teoria, nell'altra la pratica. Ed invero, quando ci fu possibile, senza entrare in digressioni troppo lunghe, abbiam fatto succedere ad ogni regola alcune applicazioni usuali. E, seguendo lo stesso metodo, ora che andiamo ad occuparci più specialmente delle applicazioni, faremo in modo di non perdere di vista le regole a cui le applicazioni si riferiscono.

Abbiam detto che la meccanica è una scienza avente per oggetto l'utilizzazione delle forze, e che le macchine sono i mezzi materiali grazie al cui impiego le forze possono essere utilizzate. Cominceremo lo studio delle macchine dalle più semplici, che, inventate per prime, servirono poscia, combinandole fra loro, a costruirne altre molto più complicate.

La più semplice di tutte è al certo la *leva*, che è una sbarra di legno o di metallo, sopra due punti differenti della quale agiscono due forze differenti, ed un terzo punto di essa riposa sopra un appoggio immobile, intorno al quale la leva può oscillare.

Prendete un regolo, collocatelo sopra una matita disposta traversalmente ad esso, collocate poi un peso qualunque sopra ciascuna delle sue due estremità, ed avrete una leva. Se la matita trovasi esattamente nel mezzo del regolo e se i due pesi ch'esso sopporta sono eguali, il regolo si manterrà equilibrato in posizione orizzontale; ciò si comprende a meraviglia, perchè le cose essendo perfettamente eguali a destra ed a sinistra del punto di appoggio, non c'è motivo perchè un estremo della léva si inclini più dell'altro.

Togliamo via i due pesi e muoviamo il punto d'appoggio in modo che il regolo risulti diviso in due parti, l'una delle quali sia doppia dell'altra. Le due parti si dicono bracci della leva. Collochiamo poscia un peso d'un chilogrammo sull'estremità del braccio più corto. Questo peso, attratto dalla Terra, farà inclinare quell'estremità fino a che toccherà il tavolo. Qual peso dovremo allora collocare all'estremità dell'altro braccio per obbligare il regolo a riprendere la posizione orizzontale?

Vi ricordate quel che ci siam proposti d'ottenere? l'equilibrio. Non lo otterremo che facendo agire sui due bracci di leva due forze eguali che vicendevolmente si distruggano. Ma le forze non dipendono dalla sola potenza, dipendono anche dalla loro velocità, ed affinchè il regolo riprenda la posizione orizzontale bisogna che quell'estremità, che non è peranco carica di peso e che trovasi più alta, si abbassi e che l'altra estremità si innalzi. Succederanno adunque due movimenti in senso opposto. Riflettendovi un pochino, vedrete una cosa, che si dimostra in geometria, che cioè il moto dell'estremità del braccio che abbiamo supposto essere lungo il doppio dell'altro, sarà due volte più grande di quello dell'altra estremità. Siccome entrambi questi moti avvengono contemporaneamente, la velocità del primo sarà doppia di quella del secondo.

Siccome la forza che applicheremo all'estremità del braccio maggiore della leva agirà con velocità doppia della velocità con cui agisce sull'estremità dell'altro braccio, così, affinchè l'azione delle due forze sia la stessa, la potenza della prima dovrà essere la metà della potenza della seconda. La potenza agente sul braccio minore della leva era d'un chilogrammo: per fargli equilibrio, dovremo caricare l'estremità del braccio maggiore con mezzo chilogrammo.

Onde renderci più intelligibili, abbiam supposto che uno dei bracci della leva fosse lungo due volte più dell'altro. Ei potrebbe esserlo 3 volte, 4 volte, 10 volte, 100 volte di più. In questi varii casi il movimento, e per conseguenza la velocità della sua estremità, essendo 3 volte, 4 volte, 10 volte, ecc., più considerevole di quella dell'estremità dell'altro braccio, sarà necessario per ristabilire l'equilibrio un peso 3 volte, 4 volte, 10 volte, ecc., più piccolo del peso onde è caricata l'estremità del braccio minore. Il che viene espresso dalla seguente regola generale: *affinchè una leva sia in equilibrio è mestieri che le potenze agenti sull'estremità di ciascuno de' suoi bracci sieno in ragione inversa delle lunghezze dei bracci stessi.*

Senza entrare in tante spiegazioni avremmo potuto rinviarvi a quel che abbiamo detto a pag. 29 intorno al modo d'agire delle forze parallele, poichè i pesi posti alle estremità dei bracci di leva corrispondono a *componenti* la cui *risultante* passa necessariamente pel punto d'appoggio della leva; poichè, se mai il suo punto d'applicazione si trovasse altrove, vale a dire sopra l'uno o l'altro braccio, essendo che per la sua qualità di risultante essa può essere considerata come la sola forza che sia in azione, ne seguirebbe, che trovandosi uno solo dei bracci soggetto all'azione d'una forza, l'equilibrio sarebbe impossibile. Abbiam preferito farvi considerare le cose da un altro punto di vista, perchè ci premeva mostrarvi come le differenti proposizioni della scienza si confermino reciprocamente.

Siccome la leva è la più semplice fra le macchine, così a ben comprendere le altre è indispensabile comprender bene questa. Un fanciullo può, col mezzo d'una leva (*fig. 14*), sollevare una grossa pietra che quattro uomini non basterebbero a smuovere. Ed infatti supponiamo che questa pietra pesi 500 chilogrammi; supponiamo poi, per sce-

gliere cifre che in certo modo parlino da sè sole, che il fanciullo prenda una sbarra lunga 102 centimetri, ne cacci un'estremità sotto alla pietra e ne sollevi quanto gli è possibile l'al-

Fig. 14 — Leva.

tra estremità, portandola, ad esempio, a 50 centimetri dal suolo, che poscia ei spinga sotto alla sbarra ed in vicinanza alla pietra un pezzo prismatico che riposi sopra terreno solidissimo, in modo che questo punto di appoggio si trovi situato a soli 2 centimetri dall'estremità cacciata sotto al masso che vuolsi sollevare. Basterà allora che il fanciullo eserciti sull'estremità libera di questa leva uno sforzo eguale a quello che eserciterebbe un peso di 10 chilogrammi perchè quest'estremità si abbassi, e perchè l'altra, sollevandosi, sollevi il masso di pietra. Infatti, poichè il braccio maggiore della leva è lungo 100 centimetri, esso è 50 volte più lungo del minore che ne misura soli 2. Per ottenere l'equilibrio basterà dunque caricare l'estremità maggiore d'un peso 50 volte più piccolo di quello della pietra, ed essendo questo peso di 500 chilogrammi, l'altro sarà di 10.

Poichè il fanciullo potè fare col mezzo della leva quanto non avrebbe potuto fare certamente senza di essa, ne concluderemo forse che la leva diede al fanciullo una forza ch'ei non aveva? Molti lo credono, e questo errore è la sorgente di tutti gli altri nella meccanica.

Che cosa fece il fanciullo? Sollevò, è vero, i 500 chilogrammmi, ma in quanto tempo e a quale altezza? Riguardo al tempo poniamo pure ch'esso sia soltanto d'un secondo;

ma in quanto all'altezza la conosciamo; giacchè premendovi sopra, il fanciullo abbassò fino a terra l'estremità della sua leva che prima si trovava all'altezza di 50 centimetri, mentre l'estremità dell'altro braccio di leva che non era che di due centimetri, vale a dire 50 volte più corto, non potè sollevarsi che d'una quantità 50 volte minore, vale a dire d'un centimetro. Quanto fece il fanciullo riducesi quindi ad aver sollevati in un secondo all'altezza d'un centimetro i 500 chilogrammi, o ciò che torna lo stesso, a sollevare nello stesso tempo un peso 100 volte più piccolo, ossia 5 chilogrammi, ad altezza 100 volte più grande, vale a dire ad un metro. Ora, sollevare 5 chilogrammi all'altezza d'un metro era cosa ch'ei poteva fare facilissimamente. La leva non aggiunse dunque nulla alle sue forze, ma gli permise solo di meglio impiegarle guadagnando in potenza quanto perdeva in velocità. In luogo di comunicare alla pietra la velocità molto grande della sua mano, che era di 50 centimetri al secondo, egli si accontentò di darle una velocità 50 volte minore, e così potè esercitare un'azione 50 volte più energica.

Volendo realmente eseguire le esperienze da noi indicate, si troverebbe qualche differenza nei risultati, poichè non abbiamo tenuto conto del peso della leva. Le leggi che presiedono alla *composizione* delle forze parallele permettono di calcolare esattamente l'influenza esercitata dall'azione di codesto peso; ma questo è uno di quei particolari intorno ai quali non possiamo fermarci per non varcare i limiti che ci siamo prefissi.

La *bilancia*, che serve comunemente a pesare le mercanzie, è una leva a braccia eguali; per conseguenza la bilancia non assume la posizione orizzontale se non quando i piatti sospesi all'estremità dei suoi bracci sieno o vuoti o carichi di pesi eguali. A questa leva si dà il nome di *giogo*. Per evitare che l'equilibrio sia instabile, e che la

bilancia non oscilli al più leggiero movimento, si dispongono le cose in modo da portarne in giù il centro di gravità, adattando al mezzo del giogo ed alla sua parte inferiore un pezzo di metallo, cui ordinariamente si dà forma triangolare. Il giogo riposa sovra un *coltello* o lama tagliente appoggiata a *cuscinetti* metallici portati dal sostegno della bilancia.

Avrete veduto talvolta mercanti poco scrupolosi servirsi di bilancie false, vale a dire bilancie con bracci di lunghezza ineguale. In questo modo rubavano agli avventori, poichè mettendo un chilogrammo sul piatto sospeso al braccio più corto, si otteneva l'equilibrio collocando un peso minore nell'altro piatto. Il miglior mezzo per scoprire codesta frode, quando ad esempio vi è stato pesato del pane, si è quello di pigliare il peso che il fornajo aveva messo in un piatto e collocarlo nell'altro, collocando poi il pane nel piatto in cui prima trovavasi il peso. Se dopo questo scambio il giogo si mantiene tuttavia orizzontale, la bilancia è giusta; ma se il piatto in cui trovasi il pane si abbassa più dell'altro, dite pure senza timore, che siete stati derubati.

Vi ha un'altra specie di bilancie, la *stadera* (*fig. 15*), che è una leva a braccia ineguali. Sul braccio maggiore sono scolpite delle divisioni indicanti chilogrammi e frazioni di chilogrammi; su questo braccio può scorrere un peso cui si diede il nome di *romano*, e che si può a piacere avvicinare od allontanare dal punto d'appoggio. All'estremità del braccio minore è sospeso un uncino od un piatto destinato a ricevere gli oggetti che voglionsi pesare; quando questi oggetti vi son collocati od appesi, si allontana il romano dal punto d'appoggio fino a che il braccio della stadera assume la posizione orizzontale: qualora la stadera sia ben costrutta, l'indicazione scolpita sul braccio maggiore e che si trova a contatto del romano vi darà con sufficiente esattezza il peso della merce.

E perchè? Chiediamolo al fanciullo di cui si parlò poco fa. Se in luogo di pesare 500 chilogrammi, la sua pietra ne avesse pesati 250, in luogo di agire sulla estremità del braccio maggiore della sua leva, egli avrebbe potuto agire soltanto sopra un punto situato a metà della sua lunghezza, vale a dire a 50 centimetri dal punto di appoggio. E se la pietra non avesse pesato che 100 chilogrammi, avrebbe ottenuto l'intento collocando le sue mani a 20 centimetri dallo stesso punto d'appoggio. Ciò è una conseguenza di quanto abbiam detto precedentemente. A seconda che la pietra fosse stata più o meno pesante, le mani del fanciullo si sarebbero adunque avvicinate od allontanate dal punto d'appoggio, il che è precisamente quanto si fa col romano della stadera.

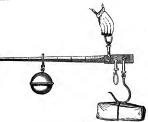



Fig. 15 — Stadera.

Talvolta il braccio minore di questo strumento porta nel mezzo un secondo uncino; il servirsene corrisponde a diminuire della metà la lunghezza del braccio minore; per ottenere allora l'equilibrio della stadera con uno stesso peso di merci, il romano deve essere allontanato dal punto d'appoggio d'una distanza metà più piccola di quella che sarebbe necessaria facendo uso del primo uncino; per conseguenza le indicazioni scolpite sul braccio maggiore devonsi contar doppie; perciò se prima la sta-

dera non poteva servire a pesare che tutt'al più 10 chilogrammi, ora potrà essere adoperata per pesarne fino a 20.

Per verificare se una stadera sia giusta, non vi ha altro mezzo che quello di sospendere successivamente all'uncino 1, 2, 3, o più chilogrammi, ed osservare, facendo scorrere di volta in volta il romano, in modo da ottenere l'equilibrio, se le divisioni alle quali ei si arresta corrispondano esattamente a quei diversi pesi. Siccome però questa verifica è troppo lunga per poterla esigere dai merciaiuoli, così bisogna dare, quando è possibile, la preferenza alle ordinarie bilancie a braccia eguali.

Per pesare oggetti molto gravi, come carri, vagoni, ecc., si fa uso di *bilancie a ponte*, che si compongono di leve a braccia ineguali agenti le une sopra le altre. Si comprende infatti che, se mediante una leva si può con un peso di 10 chilogrammi sollevarne uno di 100, sarà possibile far agire questa potenza equivalente a 100 chilogrammi sopra un'altra leva, e sollevare a questa guisa 1000 chilogrammi, i quali agendo sopra una terza leva ne sollevano 10,000; per conseguenza, mercè queste diverse leve agenti le une sopra le altre, si potrà con 10 chilogrammi fare equilibrio a 10,000 chilogrammi, con 9 chilogrammi fare equilibrio a 9,000, e così via, o, ciò che torna lo stesso, pesare un vagone che abbia uno di questi pesi.

Abbiam supposto fino ad ora che il punto d'appoggio si trovi tra il fanciullo e la pietra, vale a dire tra la forza agente e la forza resistente. Si costruiscono anche leve d'altra specie, nelle quali il punto d'appoggio trovasi proprio all'estremità della sbarra di legno o di ferro di cui componesi la leva.

Supponete una tavola posata a terra: ponete un peso sopra un punto qualunque di essa e poscia sollevatene un estremo e quindi anco il peso di cui l'avete caricata.

Credete di dover fare uno sforzo eguale a quello che fareste sollevando semplicemente quel peso con le mani?

Per meglio fissare le idee poniamo alcune cifre e non teniamo conto del peso della tavola. Supponiamo che la sua lunghezza sia di 2 metri, che il peso di cui la carichiamo sia di 100 chilogrammi, e che per incominciare lo si collochi a metà della lunghezza della tavola.

Il punto d'appoggio è la terra su cui poggierà l'estremo della tavola opposto a quello che solleveremo. Diremo *braccio minore* della leva la distanza fra il peso ed il punto d'appoggio, che nel caso presente è d'un metro, e *braccio maggiore* la distanza fra detto punto d'appoggio e l'estremità libera della tavola sulla quale agiremo, distanza che abbiam supposta di due metri.

Lo spazio che faremo percorrere a questa estremità del braccio maggiore, sollevando il capo della tavola, essendo doppio di quello che nello stesso tempo sarà percorso dal peso posto a metà distanza fra la mano ed il punto d'appoggio, avremo agito con una certa velocità per far concepire al peso una velocità metà più piccola; ma questa perdita in velocità dovrà essere compensata da un aumento in potenza. Ecco dunque che per sollevare quei 100 chilogrammi basterà uno sforzo pari a quello che avremmo dovuto fare per sollevare direttamente colle mani 50 chilogrammi senza il sussidio della leva. Non è mestieri soggiungere che se il peso, in luogo d'essere collocato nel mezzo della lunghezza della tavola, si trovasse ad un quarto della stessa, oppure ad un quinto, ad un decimo, ecc., a partire dal punto d'appoggio, lo sforzo da esercitarsi sarebbe eguale a quello che rispettivamente si farebbe per sollevare direttamente con la mano 25, 20, 10 chilogrammi, ecc.

Altrevolte, in luogo di giovarsi della leva per ottenerne potenza a scapito della velocità, si adopera la leva per otte-

nerne velocità a danno della potenza. Se in luogo di collocare il peso di 100 chilogrammi a metà, ad un terzo, ad un quarto della lunghezza della tavola, lo collocaste alla sua estremità libera, vale a dire quanto più lontano è possibile dal punto d'appoggio, e se mediante un anello infisso, ad esempio, a metà lunghezza della tavola vi fate a sollevarla, tenendone fissata al terreno con uno spediente qualunque l'estremità libera di pesi, le cose succederanno in modo inverso a quello accennato poc'anzi. La mano farebbe la metà del moto del peso, ma in compenso, per sollevare quei 100 chilogrammi dovrete sviluppare uno sforzo eguale a quello che fareste per sollevare direttamente un peso doppio.

Diremo dunque, ripetendo la regola già posta, che essendo qualunque la disposizione della leva, si ottiene l'equilibrio disponendo le cose in modo che *la grandezza della potenza stia alla grandezza della resistenza, come la lunghezza del braccio della resistenza sta alla lunghezza del braccio della potenza.*

CAPITOLO II.

Il verricello. — Gl'ingranaggi. — Il martinetto.

Dicesi *verricello* (*fig. 16*) un cilindro comunemente di legno attraversato in tutta la sua lunghezza da una sbarra di ferro detta *asse* o *perno*, le cui estremità arrotondate poggiano sopra piccoli massi di ferro o di bronzo chiamati *cuscinetti*. Uno dei due estremi dell'asse si prolunga al di là del corrispondente cuscinetto e porta una manovella. Sopra un punto del cilindro è fissata una corda che pende verticalmente, la cui estremità è gravata da un peso.

Fig. 16 — Il Verricello.

Cosa succederà quando muovendo la manovella avrete fatto fare un giro al cilindro? Prima di tutto la vostra mano avrà percorsa una circonferenza di cerchio avente per raggio la lunghezza della manovella e poi la corda si sarà avvolta d'un giro completo intorno al cilindro; il peso si sarà quindi sollevato di un'altezza eguale alla lunghezza di una circonferenza avente per raggio il raggio del cilindro.

Se il raggio del cilindro fosse eguale alla lunghezza della manovella, i due movimenti sarebbero eguali, e per sollevare il peso mediante il verricello, anche non tenendo conto dell'attrito dell'asse, del peso della corda, ecc., dovreste fare uno sforzo eguale a quello che si richiederebbe per sollevarlo direttamente con la mano. Se all'incontro, come ciò succede di solito, la lunghezza della manovella fosse tre o quattro volte più grande di quella del raggio del cilindro, la mano percorrerebbe uno spazio tre o quattro volte maggiore di quello percorso nello stesso tempo dal peso, e lo sforzo che dovreste fare sarebbe per conseguenza tre o quattro volte più piccolo.

Considerate il raggio del cilindro come il braccio minore d'una leva, i cuscinetti siccome il punto d'appoggio e la manovella come il braccio di leva maggiore, e comprenderete che qui si tratta d'un caso particolare del principio generale che abbiam posto nel precedente capitolo.

Siccome è difficile in pratica che la differenza fra la lunghezza della manovella e quella del raggio del cilindro sia molto grande, così il verricello non può dare che

un aumento assai limitato non di forza bene inteso, ma di potenza. Lo si rende più considerevole mediante un ingranaggio.

Non crediamo necessario spiegarvi cosa sia un ingranaggio, ne avrete veduti più d'una volta. Cerchiamo invece di comprendere quale sia il loro modo d'agire e come possano riescire vantaggiosi.

Fissiamo sul nostro verricello ed al posto della manovella una ruota dentata avente un raggio tre volte ad esempio più grande di quello del cilindro. Facciamo ingranare questa ruota dentata con altra ruota pure dentata ma più piccola, che dicesi *rocchetto*, e sia il suo raggio eguale a quello del cilindro; per ultimo collochiamo la manovella di prima sull'asse di questo rocchetto, ed osserviamo cosa sarà succeduto quando avremo fatto fare a quest'ultima un giro completo.

Anche il rocchetto trovandosi sullo stesso asse della manovella, compirà un giro. Supponiamo che i suoi denti sieno in numero di sei: la ruota dentata avendo raggio tre volte maggiore, ne avrà tre volte tanti e quindi 18; è chiaro che in un giro 6 soli di questi 18 denti saranno stati spinti dai denti del rocchetto; dunque la ruota dentata e con essa anche il cilindro del verricello non avranno compiuta che la terza parte d'un giro. La corda non si sarà avvolta che sulla terza parte della circonferenza del cilindro; e siccome questa circonferenza non è che la terza parte di quella descritta dalla mano mentre fa fare un giro completo alla manovella, così il peso non riescirà sollevato che della terza parte di un terzo, vale a dire verrà sollevato di un nono dello spazio percorso dalla mano. Essendosi dunque la velocità della vostra mano trasformata, nel trasmettersi al peso, in una velocità nove volte più piccola, la potenza della mano sarà diventata nove volte maggiore: potrete adunque sollevare 900 chilogrammi

senza esercitare maggiore sforzo di quello che si richiederebbe a sollevare 100 chilogrammi senza ricorrere nè al verricello nè all'ingranaggio.

Il verricello solo avrebbe triplicata la vostra potenza, poichè la lunghezza della manovella era tripla di quella del raggio del cilindro; l'ingranaggio poi triplicò questa potenza già triplicata, poichè il raggio della ruota dentata era triplo di quello del rocchetto. Il raggio della ruota dentata e quello del rocchetto agiscono come due bracci di leva. Ecco dunque che qui pure si tratta di una applicazione particolare della regola generale, applicazione che potremo formulare a questo modo: *Moltiplicando gli uni per gli altri i numeri che esprimono le lunghezze dei raggi delle ruote dentate e del pari gli uni per gli altri i numeri esprimenti le lunghezze dei raggi dei rocchetti, il rapporto di questi due prodotti sarà quello che deve esistere fra il peso da sollevarsi e la potenza necessaria a sollevarlo.*

Supponiamo ad esempio un ingranaggio composto di tre ruote dentate, ciascuna del diametro di 30 centimetri, e di tre rocchetti, ciascuno del diametro di 3 centimetri: avremo da un lato 30 moltiplicato per 30 moltiplicato per 30, che fa 27,000, e dall'altro 3 moltiplicato per 3 moltiplicato per 3, che fa 27. Ed essendo 1000 il rapporto fra 27,000 e 27, questo rapporto sussisterà anche fra il peso da sollevarsi e lo sforzo necessario a sollevarlo. Dunque, con lo sforzo necessario a sollevare un chilogrammo se ne potranno sollevar mille, ma con velocità mille volte più piccola. Lo stesso risultato otterrebbesi con una leva, ma si richiederebbe che un braccio di leva fosse mille volte più grande dell'altro, cosa che sarebbe spesso impossibile ad ottenere ed in ogni caso incomodissima nella pratica. Gli è perciò che quando è mestieri operare con piccolissima velocità onde avere una potenza assai grande, si dà in generale la preferenza agli ingranaggi.

Talvolta gli ingranaggi si adoperano per uso del tutto diverso. Per ciò basta agire direttamente sulla ruota dentata anzichè sul rocchetto. Per meglio comprenderlo costruiremo un verricello il cui cilindro abbia $0^m,40$ di diametro. Fissiamo sull'asse di questo cilindro, non più una ruota dentata come poco fa, ma un rocchetto di $0^m,10$ di raggio, facciamo ingranare nei denti di questo rocchetto quelli di una ruota del raggio di $0^m,30$ ed all'asse di questa ruota adattiamo una manovella lunga pure $0^m,30$.

Dopo aver fatto fare un intero giro alla manovella, la mano avrà percorsa la circonferenza d'un cerchio avente $0^m,30$ di raggio, avrà quindi percorso $1^m,8846$, ed anche la ruota dentata avrà fatto un giro completo; ma siccome il di lei raggio è triplo di quello del rocchetto, così la ruota avrà costretto il rocchetto, e per conseguenza anche il cilindro, a compiere tre giri. La circonferenza del cilindro è di $2^m,5128$, quindi la corda avvolgendosi sul cilindro per tre giri solleverà il peso all'altezza di $7^m,5384$. La velocità del peso è dunque 4 volte maggiore di quella della mano, e per conseguenza non potremo sollevare che un peso 4 volte più piccolo di quello che avremmo sollevato direttamente senza l'intervento dell'ingranaggio.

Un calcolo assai semplice ci avrebbe fatto prevedere codesto risultato; essendochè il rapporto fra la lunghezza della manovella $0^m,30$ e quella del raggio del cilindro $0^m,40$ è tre quarti; il verricello non ci avrà lasciate che tre quarte parti della nostra potenza. Il rapporto fra il raggio del rocchetto $0^m,10$ ed il raggio della ruota dentata $0^m,30$ è un terzo; quindi l'ingranaggio non può lasciarci che il terzo di quei tre quarti, ovvero i tre dodicesimi, vale a dire il quarto della nostra potenza.

Potremmo procedere anco in altra maniera, moltiplicando l'uno per l'altro i numeri esprimenti la lunghezza

della manovella e la lunghezza del raggio del rocchetto, con che sarebbesi ottenuto 0^m,03 e l'un per l'altro quelli esprimenti i raggi del cilindro e della ruota dentata, il che darebbe 0^m,12 e troveremmo ancora che il rapporto fra i due prodotti è un quarto.

È pure utile talvolta perdere potenza onde guadagnare velocità. Ne avete un esempio negli oriuoli. È certo che a far avanzare gl'indici basterebbe una forza assai piccola, e perchè adunque si impiegano pesi tanto massicci? Per non aver l'incomodo di sollevare quei pesi (caricando l'orologio) che, ad esempio, ogni otto giorni. Se in otto giorni discesero di 1^m,60, avranno giornalmente percorso 0^m,20. La ruota che fa andare il bilanciere, fa sovente fino ad un giro al minuto. Supponiamo che la circonferenza di questa ruota sia eguale a 0^m,30: in base a tale supposizione un punto qualunque di detta circonferenza percorrerà 0^m,30 al minuto, e quindi 18 metri all'ora e 432 metri al giorno. La velocità di detta ruota sarà dunque 2160 volte più grande di quella che sarebbe necessaria per farla camminare qualora la sua velocità fosse pari a quella del peso. Si volle cangiare una velocità assai piccola, quella del peso, in una velocità assai grande, quella della ruota che conduce il bilanciere, e vi si riescì col mezzo di ingranaggi, ma rassegnandosi alla fatica di sollevare un peso tanto grave per produrre poi un effetto tanto piccolo.

Se avete ben compreso ciò che ho detto, vi sarete accorti della assurda opinione che le leve, i verricelli, gl'ingranaggi, ecc., possano aumentare o creare una forza qualunque. Non vi ha peso al mondo che non si possa sollevare dalla cantina al solaio; tutto riducesi a questione di tempo.

Si tratta d'un masso enorme di pietra pesante dieci mila chilogrammi? potrei segarlo in duecento pezzi, ed

impiegandovi tutte le mie forze, porterei successivamente tutti quei pezzi all'altezza prescritta. Impiegherei a tale scopo quindici o sedici ore, non contando tutto il tempo consumato a ridiscendere le scale. Ebbene! state pur certi che ad onta di tutti i possibili ingranaggi, sia che lo sollevate tutto in una volta, sia che lo facciate a pezzi, non vi sarà possibile portare quel masso di pietra alla stessa altezza in minor tempo se non spendete che una forza eguale alla mia.

Gl'ingranaggi non sono creatori ma piuttosto *ladri* di forza. Ed invero, se dopo aver collocato sulle spalle un sacco di farina lo trasporto in solaio, la mia forza sarà stata unicamente impiegata a mettere in movimento quel sacco di farina; se all'incontro adopero un verricello e un ingranaggio, una parte della mia forza andrà spesa a mettere in movimento i pezzi di questa macchina e nel tempo stesso anche l'impalcato che le serve di base, il quale per quanto sia solido, pure, come lo provano le sue vibrazioni, partecipa sempre un pochino a quei movimenti; un'altra parte della mia forza andrà consacrata a vincere un gran numero di attriti e di resistenze diverse, e per conseguenza mi rimarrà una minor quantità di forza per trasportare il sacco di farina, e dovrò quindi, per farlo giungere al solaio, impiegare maggior tempo di quanto me ne sarebbe abbisognato trasportandolo semplicemente sulle spalle.

È dunque una regola di senso comune il non servirsi di ingranaggi quando si può farne a meno, vale a dire quando per raggiungere lo scopo prefissosi non sia necessario aumentare, negli effetti della forza di cui si può disporre, la potenza a spese della velocità, o la velocità a spese della potenza. E quando si è proprio costretti a ricorrere agli ingranaggi, bisogna ridurne quanto è possibile gli elementi, vale a dire il numero delle ruote

e dei rocchetti e non perdere mai di vista la verità dimostrata ad un tempo dall'esperienza e dal ragionamento, che cioè quanto più una macchina è complicata tanto più viziosamente è costrutta.

L'effetto prodotto dagli ingranaggi si può ottenere anco senza ricorrere ai rocchetti ed alle ruote dentate. Nel cortile della mia casa ho stabilito un *maneggio*, nome che si dà in meccanica ad un albero verticale girevole in un foro guarnito di cuscinetto o *ralla* praticato in una trave che di solito rimane interrata. All'albero è fissato solidamente un *braccio* o pezzo di legno orizzontale cui è attaccato un cavallo che girando obbliga a girare anco l'albero del maneggio.

A dodici metri da quest'albero trovasi un'officina nella quale voglio far agire, onde mettere in movimento laminatoi, torni ed altri congegni, la forza sviluppata dal cavallo, facendo fare a quei congegni un numero di giri cinque volte maggiore di quelli fatti dall'animale.

Teoricamente, potrei riescirvi mediante un ordinario ingranaggio, fissando cioè sopra l'albero una ruota dentata avente dieci metri di raggio e che ingranasse in un rocchetto di due metri; ma chi non vede che la cosa è praticamente impossibile, e che una ruota dentata del diametro di venti metri recherebbe grave imbarazzo e costerebbe una somma esorbitante? Potrei pure riescirvi moltiplicando assai le ruote ed i rocchetti, che in tal caso risulterebbero di tenue diametro; ma a questa guisa moltiplicherei pure gli attriti nel modo più dannoso.

Invece di tutto questo, infilo nell'albero del maneggio un tamburo, o grosso disco di legno, al quale assegno un metro di raggio. Stabilisco nell'officina un altro tamburo avente invece $0^m,20$ di raggio, lo dispongo in modo che possa liberamente girare intorno ad un asse; faccio passare sui due tamburi, in guisa da abbracciarli entrambi

parzialmente, una corda o coreggia *senza fine*, vale a dire una corda i cui due capi sieno congiunti l'uno all'altro, ed assegno a questa corda la lunghezza necessaria a mantenerla sempre tesa, per ultimo do al cavallo il segnale della partenza.

In conseguenza del di lei attrito col tamburo maggiore, la corda acquisterà la stessa velocità della circonferenza del tamburo. Ora questa circonferenza, avendo un metro di raggio, misura circa $6^m,282$; ogni suo punto, e quindi anche ogni punto della corda percorrerà $6^m,282$ ad ogni giro completo dell'albero del maneggio e quindi del tamburo che vi è attaccato.

La corda, in grazia del di lei attrito sul secondo tamburo situato nell'officina, obbligherà ciascun punto della circonferenza del tamburo a muoversi con la velocità di $6^m,282$. Questa circonferenza misura soltanto $1^m,2564$; dunque se il tamburo facesse una sola rivoluzione, ogni suo punto non avrebbe che la velocità di $1^m,2564$; volendo invece che abbia la velocità di $6^m,282$ è mestieri che il tamburo compia cinque giri nel mentre che il cavallo e l'albero del maneggio ne fanno uno, poichè cinque volte 1,2564 forma appunto 6,282. Avrò dunque ottenuta la bramata velocità nell'interno della mia officina mediante quei due tamburi ed una corda.

Sappiamo che i calcoli fondati sempre sulla stessa base non riescono troppo dilettevoli; tuttavia li crediamo indispensabili, poichè soltanto moltiplicando gli esempii si può rendersi conto esatto del giuoco delle forze e dei vantaggi o degli inconvenienti che si incontrano impiegando le macchine. Cercheremo d'ora innanzi di diffonderci meno, ma nei principii avremmo temuto che troppa concisione lasciasse qualche oscurità ai nostri discorsi. Ancora poche parole, ed avremo finite le questioni che si riferiscono all'impiego degli ingranaggi.

Fig. 17.

Il *martinello* si compone di un rocchetto girevole intorno ad un asse, un'estremità del quale è armata di manovella; i denti del rocchetto ingranano in quelli tagliati in un'asta diritta di ferro detta *scaletta*, alla cui sommità si pone il corpo che si vuol sollevare.

Anche il martinello è come gl'ingranaggi una particolare applicazione della leva. Il di lei punto d'appoggio trovasi nei cuscinetti sui quali riposa l'asse del rocchetto; il braccio maggiore di questa leva è la manovella, il braccio minore è il raggio del rocchetto sull'estremità del quale agisce la resistenza, vale a dire la scaletta ed il peso onde è caricata. È chiaro che la potenza agente sopra la manovella, potrà essere tanto più piccola quanto più grande sarà la manovella rapporto al raggio del rocchetto.

Supponiamo che si tratti di sollevare un peso di 500 chilogrammi. Se il punto della manovella cui applicate la forza muscolare delle mani è a $0^m,30$ dal centro dell'asse, e se il raggio del rocchetto non è che di 0,03, il rapporto fra i due numeri sarà 10; basterà dunque esercitare quell'azione che esercitereste per sollevare direttamente un peso 10 volte più piccolo di quei 500 chilogrammi, ma d'altra parte le vostre mani dovranno muoversi con velocità 10 volte maggiore di quella con cui si muoverà il peso di 500 chilogrammi che sollevate.

Volendo sollevare pesi ancor maggiori si ricorre a martinelli muniti d'ingranaggi (*fig. 17*), mercè i quali si raggiunge l'intento con una potenza relativamente piccola, perdendo però bene inteso in velocità.

I martinelli sono d'uso frequentissimo e molte volte si adoperano anco a vincere lievi resistenze; così quel congegno che serve a caricare le lampade a *moderatore*, è un martinello in cui la manovella è sostituita da un bottone.

CAPITOLO III.

La puleggia — Le taglie — Il piano inclinato — La vite.

Passeremo ora in rivista diversi strumenti molto semplici, che sebbene non presentino diretta analogia con la leva sono pure soggetti senza eccezione alla regola generale, che quanto si guadagna in potenza tanto si perde in velocità, e quanto si guadagna in velocità tanto si perde in potenza.

La *puleggia*. La puleggia di forma conosciutissima a tutti è uno strumento la cui utilità consiste nell'operare il cangiamento di direzione nel moto, spendendo la minima forza possibile a vincere gli attriti cui dà luogo questo cangiamento di direzione.

Legando una secchia in capo ad una fune e calandola in un pozzo, potrò, tirando a me la corda, ritirare la secchia piena d'acqua. In tal caso la mano si muove dal basso in alto esattamente come la secchia e con la stessa velocità. Questo movimento mi riesce incomodo, e siccome troverei qualche vantaggio convertendolo in movimento dall'alto al basso, movimento che mi permetterebbe d'aggiungere il peso del corpo alla forza muscolare de' bracci, così pianto due pali d'eguale altezza in fianco al pozzo, fisso una traversa orizzontale sopra di essi e faccio passare la corda per disopra alla traversa. Tirando la corda, la secchia si alzerà tanto quanto si abbasseranno le mani. Avrò quindi ottenuto il mio intento, poichè avrò cangiata la direzione del movimento che devo fare.

Ma l'attrito della corda sulla traversa sarà considerevole, e per vincerlo dovrei spendere inutilmente una parte della mia forza. Onde rimediare a questo inconveniente sospenderò alla traversa una puleggia sulla cui gola farò pas-

sare la corda. Allora questa corda non avrà nulla su cui soffregarsi, essa si svolgerà sulla circonferenza della puleggia seguendone il movimento. L'unico attrito che sussisterà sarà quello dell'asse della puleggia sui piccoli cuscinetti portati dal sostegno sui quali la puleggia si appoggia. E quest'attrito è tanto dolce purchè si abbia cura d'ungere le parti in contatto, e lo si vince con sì lieve forza, che praticamente si può trascurarlo.

Essendo la velocità discendente delle mie mani sempre eguale a quella ascendente della secchia, è evidente che nulla si perde e nulla si guadagna in potenza, e tranne il vantaggio che ricavo dalla posizione più comoda, la puleggia non me ne offre alcun altro.

Havvi però un caso in cui essa potrebbe rendermi qualche servizio; facendo salire la secchia ripiena d'acqua, sollevo necessariamente un *peso morto*, quello della secchia; ma attaccando una seconda secchia all'altro capo della corda, mentre una secchia discenderà vuota l'altra salirà piena, ed essendo eguali i pesi delle due secchie, l'una equilibrerà l'altra, e dovrò vincere il solo peso dell'acqua.

Mentre la puleggia semplice non si adopera che per modificare la direzione dei movimenti, l'unione di più puleggie combinate in modo da formare una *taglia* serve ad usi molteplici.

All'ansa del secchio, che supporremo in fondo al pozzo, attacchiamo una puleggia, sotto alla quale farem passare la corda. Fisseremo un capo della corda alla traversa di cui abbiamo parlato e l'altro capo, dopo averlo accavalcato sopra la puleggia sospesa come poc' anzi a questa stessa traversa, lo terremo in mano (*fig. 18*). E fin qui ci siamo intesi, è vero? Bene! ora tiriamo a noi la corda per una lunghezza d'un metro. Di quanto sarà salita la secchia? D'un mezzo metro soltanto, poichè da un lato è sostenuta dalla por-

Fig. 18.

zione di corda che è attaccata alla traversa e dall'altro lato dalla porzione di corda il cui capo è in mia mano; e siccome l'intera corda non si è raccorciata che d'un metro, così ogni porzione non potè accorciarsi che della metà.

La velocità della secchia, che in questo caso rappresenta la resistenza, trovasi essere metà meno grande della velocità della mano; per vincere codesta resistenza, per far salire la secchia, non dovremo fare che uno sforzo metà più piccolo di quello che sarebbe stato necessario non facendo uso di questo mezzo.

Le taglie sono ben spesso più complicate. Raddoppiamo ciascuna delle due puleggie, stacchiamo il capo della corda che avevamo prima fissato alla traversa, facciamolo passare sopra la nuova puleggia che ora abbiamo sospesa a questa traversa, facciam poscia discendere la corda e passare per disotto alla seconda puleggia fissata alla secchia, facciamola per ultimo risalire verso la traversa cui la attaccheremo nuovamente; due parti della corda scenderanno e due saliranno. Quando avremo tirato fuori dal pozzo un metro di corda, ogni parte riescirà accorciata d'un quarto di metro. La velocità della secchia risulterà dunque la quarta parte della velocità della mano; per estrarre la secchia faremo uno sforzo quattro volte più piccolo di quello necessario ad estrarla sia con una puleggia semplice, sia agendo direttamente sulla corda.

Questo sforzo sarebbe analogamente sei volte meno considerevole impiegando sei puleggie, otto volte meno considerevole impiegandone otto, e così via. Nelle taglie adunque lo sforzo che devesi esercitare è eguale alla resistenza che si vuol vincere od al peso che si vuol sollevare diviso pel numero totale delle puleggie.

Notiamo poi che in luogo d'adoperare le puleggie separate, come or ora si disse, si suole più spesso riunire tutte le parti rotonde e girevoli delle puleggie superiori in una sola cassa (*fig. 19*) assegnando ad esse un asse comune, sul quale gireranno liberamente le puleggie, e si fa altrettanto per le puleggie inferiori, adattando sotto alla lor cassa un uncino destinato ad appendervi i pesi da sollevarsi. A questa guisa tutta la taglia si compone di tre soli elementi: la corda e le due puleggie aventi ciascuna uno o più dischi girevoli.

L'uso delle taglie è frequentissimo in architettura per sollevare pezzi molto pesanti di pietra o di legno, nella marina per alzare od abbassare le antenne e le vele, ecc.

Parlando del moto accelerato, abbiamo già avuto occasione di spendere alcune parole intorno ai *piani inclinati.* Ritorniamo su quest'argomento dal punto di vista del vantaggio che si può ricavare dal piano inclinato economizzando potenza a scapito di velocità.

Se sopra un tavolo ben levigato ci facciamo a trascinare, col mezzo d'una funicella, un corpo qualunque, non dovremo vincere altra resistenza tranne quella prodotta dall'attrito, e siccome abbiam già veduto che vi è maniera per ridurre ad assai poca cosa codesta resistenza, così potremo per ora fare a meno di occuparcene.

Supponiamo che il tavolo sia lungo due metri; solleviamone un estremo e facciamolo poggiare sopra un sostegno alto 50 centimetri; collochiamo al piede del pendío un piccolo vagone che supporremo pesare 100 chilogrammi.

Fig. 19 — Taglia.

Attacchiamo al vagone una funicella che faremo passare sopra una puleggia collocata alla parte più alta della tavola; ed al capo di questa funicella attacchiamo un peso tale che discendendo obblighi il vagone a salire lungo tutto il pendío. Evidentemente questo peso dovrà trascinare seco due metri di funicella, o, ciò che torna lo stesso, discendere di due metri. Siccome nel salire il pendío, il vagone si alzò di mezzo metro soltanto, e siccome i due movimenti ebbero luogo contemporaneamente, così la velocità del peso discendente sarà stata quadrupla non già della velocità di cui era animato il vagone salendo il pendío, poichè queste velocità sono eguali, ma della velocità con cui andò alzandosi sul punto di partenza. Questo peso sarà adunque il quarto del peso del vagone.

Una cosa che può lasciare qualche oscurità a questo riguardo, si è che il vagone — ciò vi sembrerà strano — progredisce ad un tempo in due direzioni diverse. Esso percorre la lunghezza della tavola assolutamente come farebbe se questa fosse orizzontale: questo movimento non richiederà dispendio alcuno di forza, e potremo non tenerne calcolo, poichè abbiamo già stabilito di lasciar da parte gli at-

triti. Ma nel tempo stesso che progredisce verso l'estremo della tavola il vagone si alza, ed è di questo solo movimento che dobbiamo occuparci. Il vagone si alzò di soli 50 centimetri, mentre il contrappeso si abbassò di 2 metri. La velocità del contrappeso fu dunque quattro volte maggiore della sua; e questo contrappeso può dunque fargli equilibrio sebbene non abbia che un peso quattro volte minore.

Possiamo variare quanto ci piace la lunghezza e l'inclinazione della tavola, come anche il peso del vagone, e giungeremo sempre al seguente risultato: *la forza necessaria per far ascendere ad un corpo qualunque un piano inclinato trovasi col peso di questo corpo, nello stesso rapporto che esiste fra l'altezza e la lunghezza del piano inclinato.*

Abbiamo veduto, parlando degli attriti, che quando le superfici a contatto sono di ferro o bronzo convenientemente spalmate d'unto, la forza necessaria a vincere l'attrito è eguale ai 7 centesimi del corpo che si muove. Abbiam pure veduto che quando l'attrito è volvente come quello degli assi delle carrozze, questa forza può essere 19 o 20 volte più debole, e per conseguenza essere eguale alla ventesima parte dei 7 centesimi del peso che si muove, vale a dire a due 7 millesimi di questo peso. Vi avvertiamo però che questi numeri non sono esatti in ogni caso, poichè variano a seconda del diametro degli assi e delle ruote, ecc., ecc.; ciò però non ha importanza pel fatto che vogliamo segnalare.

Per far avanzare d'un metro sopra una ferrovia orizzontale un vagone che col suo carico pesi 10,000 chilogrammi, basta, come già sapete, una forza eguale a quella che sarebbe necessaria per alzare ad un metro d'altezza e nello stesso tempo un peso di 35 chilogrammi, o meglio di 50 chilogrammi, come si ritiene in pratica gene-

ralmente. Supponiamo ora che questa ferrovia sia inclinata d'un centimetro per ciascun metro, vale a dire che formi un piano inclinato la cui altezza sia la centesima parte della lunghezza, pendenza molto debole. In base alla regola da noi posta più sopra, la forza necessaria a far salire il vagone lungo il pendío sarà di 100 chilogrammi, e siccome gli attriti offriranno la stessa resistenza come sul piano orizzontale, così questa forza dovrà essere di 100 chilogrammi più 50 chilogrammi, ovvero di 150 chilogrammi. Una tenue pendenza basta dunque a triplicare la resistenza. Se la pendenza fosse di due centimetri per metro, ovvero di un cinquantesimo, la resistenza risulterebbe quintuplicata. Ciò basta a mostrare quanto importi evitare le forti pendenze nel tracciamento delle ferrovie, e per qual motivo si preferisca forare con grandi spese le gallerie anzichè ricorrere a salite molto rapide, che aumenterebbero di molto le continue spese dell'esercizio.

Le locomotive trasportano i convogli soltanto mercè l'aderenza delle loro ruote sulle rotaie; le ruote delle locomotive penetrano quasi nelle ruotaie sotto allo sforzo del peso che sopportano, con le quali puossi quasi dire che ingranano. Onde ottenere un'aderenza bastevole a superare pendenze di due centimetri per metro si devono impiegare locomotive pesanti fino a 50 e 60,000 chilogrammi.

Quando i cavalli trascinano una vettura lungo una salita rallentano il passo, e così diminuendo in velocità possono aumentare in potenza, e se fosse loro possibile il diminuire indefinitamente la loro velocità potrebbero superare a questo modo anco le pendenze più forti; ma siccome andando più lenti che al passo, non avanzerebbero, così giunge un istante in cui non possono più avanzare e conviene attaccare cavalli di rinforzo.

Abituati come siete a percorrere giornalmente strade

in pendío, a salire lungo piani inclinati, vi sembra naturalissimo il senso di fatica che in ciò si prova; ma perchè lo si prova e in qual grado? Non vi avete forse mai pensato. Ebbene, salendo per una via lunga 100 metri, avente $0^m,10$ di pendío per ciascun metro, se il vostro peso è di 70 chilogrammi, voi sollevate senza accorgervene 70 chilogrammi all'altezza di 10 metri, esercizio che naturalmente produce una certa fatica.

E non rendendosi conto di quanto si fa giornalmente, si merita poi il titolo di esseri ragionevoli? Si crede che lo studio della meccanica sia utile soltanto agli operai, agli ingegneri, mentre essa è a tutti indispensabile; senza di lei non potremmo renderci ragione dei fatti più comuni, delle cose più semplici, e vivremmo come tanti ciechi automi.

Se in luogo d'obbligare un corpo a salire lungo un piano inclinato si costringe il piano inclinato a scivolare sotto al corpo, obbligato a rimanere immobile nella direzione di questo movimento, le cose succederanno evidentemente allo stesso modo ed il corpo di cui trattasi si troverà innalzato di tutta l'altezza del piano inclinato.

I piani inclinati che si fanno avanzare sotto ai corpi per sollevarli diconsi *cunei*. Un cuneo è un solido che in una delle sue facce presenta un piano inclinato; altre volte gli si dà la forma di un V, nel qual caso esso risulta dall'unione di due cunei semplici adagiati l'uno sull'altro con le loro facce non inclinate. Quanto siamo per dire intorno ai primi varrà naturalmente anco per i secondi.

Di solito si adoperano i cunei per tagliare legna o pietre e per sollevare pesi molto rilevanti. Il cuneo opera in due maniere: penetra con la sua parte aguzza dividendo le parti del corpo che vuolsi fendere, solleva inoltre e scosta queste parti dividendole in guisa che dispensa dallo spingere più innanzi la divisione. Progredendo nella

fenditura iniziata dalla parte aguzza, il cuneo scivola sotto alla parte superiore della roccia che si vuol fendere e la solleva alla stessa guisa del piano inclinato che scivolando sotto ad un corpo lo solleva.

Sebbene la resistenza da vincersi non consista soltanto, come poc'anzi, nel peso della parte superiore del masso che si vuol fendere, ma comprenda anco l'aderenza, la coesione che esiste fra le due parti superiore ed inferiore che voglionsi separare con violenza, pure è manifesto che per vincere questa resistenza il cuneo non può agire che alla maniera del piano inclinato. Da ciò si comprende come lo spaccalegne che batte la testa del cuneo taglia il legno con fatica tanto minore quanto più il cuneo è affilato, vale a dire quanto più grande è la sua lunghezza comparativamente allo spessore della sua testa.

Gli usi del cuneo sono molteplici: le scuri ed i chiodi son veri cunei, ed i vantaggi che recano dal punto di vista della meccanica sono eguali a quelli che procura il piano inclinato.

In alcuni casi in luogo di far avanzare il cuneo, torna più utile il farlo indietreggiare. Immaginate un gran cuneo di legno munito di ruotelle, collocato sopra un tavolo ben liscio ed orizzontale: se, dopo averne unta la superficie superiore, per affievolire gli attriti, appoggiate fortemente sovr'essa l'estremo ben liscio d'una bacchetta, che avrete cura di mantenere in posizione verticale, il cuneo indietreggierà andando innanzi con la testa onde permettere alla bacchetta di scendere di più in più. Più grossolanamente vediamo ripetersi un fatto analogo, quando un fanciullo, dopo mangiata una ciliegia, ne preme il nocciuolo fra le dita; questo, scivola e scappa con velocità proporzionale alla pressione che fu esercitata sovr'esso.

Sostituite al nocciuolo di ciliegia od al cuneo di legno l'ala obbliqua d'un molino a vento, alla bacchetta od

alle dita del fanciullo la forza del vento; e la pressione esercitata dal vento obbligherà il piano inclinato formato dall'ala del molino ad indietreggiare, e siccome quest'ala è rattenuta dal braccio che la sopporta, e che questo braccio egli pure è attaccato ad un asse orizzontale, così anzichè indietreggiare seguendo una linea retta, l'ala del molino indietreggierà descrivendo cerchi.

E le altre ali faranno anch'esse altrettanto e comunicheranno al meccanismo del molino un moto regolare.

Se le ali del molino non fossero disposte obliquamente rispetto al braccio, se cioè in luogo di esporsi come piani inclinati all'urto del vento, le ali si presentassero perpendicolarmente, ossia direttamente contro di esso, nulla si muoverebbe. E lo stesso accadrebbe se la bacchetta, di cui parlavamo testè, anzichè premere verticalmente sopra un piano inclinato premesse sopra una superficie orizzontale: evidentemente questa superficie nè avanzerebbe nè indietreggierebbe.

Sappiamo già qual sia la forza necessaria a far salire un peso conosciuto lungo un piano inclinato di lunghezza ed altezza parimente conosciute; or bene, è chiaro che questa forza è eguale a quella che abbisognerebbe onde impedire a questo stesso piano di indietreggiare qualora fosse premuto dallo stesso peso. Assimilando la pressione esercitata da un peso all'azione esercitata dal vento, il che è possibile mercè numerose esperienze già fatte, conoscendo la forza del vento — forza che ben presto potremo apprezzare — e conoscendo inoltre l'inclinazione delle ali del molino, ci sarà facile calcolare la forza che esso avrà a nostra disposizione.

I cervi volanti od aquiloni, coi quali si trastullano i fanciulli, funzionano precisamente come le ali d'un molino. La loro inclinazione è tale che indietreggiano salendo in causa dell'azione che il vento esercita sovr'essi, rattenuti

come sono da una funicella, analogamente alle ali del molino rattenute dal loro asse. Sopprimendo ciò che serve a regolare l'inclinazione del cervo volante, tagliando cioè la coda che gli serve da contrappeso o rompendo la funicella che lo trattiene, cadrà a terra immediatamente. Giornalmente vedete aquiloni sollevarsi nell'aria, ma quando mai vi è venuto in mente il rapporto che passa fra essi ed il piano inclinato?

La *vite*. Ecco un'altra applicazione della stessa teoria. È noto a tutti che la vite è un cilindro di legno o di metallo intorno al quale si avvolge spiralmente un cordone in rilievo della stessa materia, cui si dà nome di *verme*, che la distanza fra due vermi consecutivi dicesi *passo*, e che la *chiocciola* o *madrevite* è un pezzo pure di legno o di metallo traversato da un foro avente all'incirca lo stesso diametro della vite, nel contorno del qual pezzo è incavato un verme eguale a quello che la vite porta in rilievo.

Quando la vite fosse ritta verticalmente e la madrevite fosse tanto pesante da poter vincere la resistenza oppostagli dall'attrito, la madrevite scenderebbe girando lungo il piano inclinato formato dal verme, come una vettura scende lungo una di quelle strade a gironi che si incontrano in paese montuoso. Con l'invenzione della vite non si ebbe però in mira questo semplice risultato.

Immaginiamo una chiocciola solidamente incastrata od incassata in una trave sostenuta da due pali. Facciamo penetrare nellachiocciola una vite del passo, per esempio, di 4 millimetri. Supponiamo che la testa della vite, ossia la sua parte superiore, che ordinariamente è rigonfia e non porta verme, sia forata da parte a parte e che il foro dia passaggio ad una stanga di ferro sporgente $0^{m},30$ tanto al di quà quanto al di là dal centro della testa.

Se ora agite con la mano sull'estremità di quel pezzo

di ferro che fa qui l'ufficio di manovella, in modo da far girare la vite nella sua chiocciola, applicandovi una potenza pari a quella che si richiederebbe per sollevare un peso di 50 chilogrammi, la mano percorrerà ad ogni giro la circonferenza d'un cerchio avente 0m,30 di raggio, vale a dire percorrerà una lunghezza di 1m,884. Ma ad ogni giro della vite, essa non si muove rispetto alla chiocciola che per l'altezza d'un passo; essa si muoverà adunque di 0m,004, mentre la vostra mano si muoverà di 1m,884. La velocità della vite risulterà dunque 471 volte più piccola di quella della mano, e la potenza che la vite potrà esercitare premendo sopra un oggetto qualunque sarà 471 volte più grande della vostra ed equivarrà a 23,550 chilogrammi. È questo al certo un congegno che produce potenza grandissima, ma appunto per ciò funziona con piccolissima velocità.

Un uomo di forza ordinaria può col mezzo d'una vite esercitare un'enorme pressione. Non vi farà quindi meraviglia l'osservare come il conduttore d'una locomotiva possa, chiudendo un freno col mezzo d'una vite, arrestare le ruote della sua macchina e costringerle così a scivolare sulle rotaie in luogo di girare. Colle viti si premono le uve e gli olivi per cavarne vino ed olio, si coniano le monete, si stampano i libri, ecc.

CAPITOLO IV.

I motori. — Le forze muscolari. — Le ruote idrauliche. Forza del vento.

Diconsi motori le forze impiegate a mettere in movimento le macchine.

I motori utilizzati dalla meccanica sono le forze muscolari dell'uomo e degli animali, le forze della gravità

dell'acqua, dell'impulsione del vento, e infine dell'espansione prodotta dal calorico. Alcuni recenti tentativi lasciano sperare che anche l'elettricità possa un giorno prender posto fra i motori.

Il lavoro effettuato senza grave fatica da un uomo di forza ordinaria può essere paragonato a quello di una forza che solleva dagli 8 ai 9 chilogrammi ad un metro di altezza in un secondo, vale a dire l'ottava o la nona parte della forza d'un cavallo-vapore. Però l'uomo non produce questa quantità di lavoro per molte ore di seguito, senonchè lavorando nella maniera più favorevole al buon impiego delle sue forze.

Questa condizione si manifesta principalmente quando l'uomo sale una scala senza portare alcun carico. Ed appunto a questo modo lo si impiega molte volte nei lavori che richiedono soltanto forza. Volendo ad esempio estrarre materiali dal fondo d'una miniera, si costruisce una gran ruota (*fig. 20*) che si pianta verticalmente. L'asse della ruota formato da un grosso cilindro di legno termina alle sue estremità con perni in ferro appoggiati su cuscinetti, e passa superiormente alla bocca del pozzo della miniera. La circonferenza di questa ruota è munita di gradini sui quali un uomo può salire come sui gradini d'una scala ordinaria. Salendo ei solleva soltanto il peso del proprio corpo; questo peso tende al basso e perciò obbliga la ruota a girare. L'uomo si troverebbe ben presto al basso della ruota, e questa diverrebbe immobile, se l'uomo non salisse ancora alcuni gradini, i quali alla lor volta si abbassano mentre egli continua a salire. L'uomo agisce su questa ruota analogamente allo scoiattolo racchiuso nella gabbia girevole.

Supponiamo che un uomo pesante 60 chilogrammi salga sopra la ruota 50 gradini, alti ciascuno $0^m,18$, durante un minuto; l'uomo avrà sollevati in quel mi-

nuto i suoi 60 chilogrammi a 9 metri d'altezza, ovvero 540 chilogrammi ad un metro. Nel corso di un minuto secondo avrà spesa adunque una forza equivalente a 9

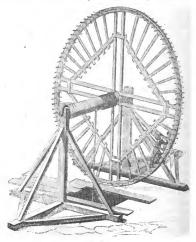



Fig. 20.

chilogrammetri. Questa forza si può considerarla applicata all'estremità del braccio maggiore di una leva che è il raggio della ruota, il braccio minore della qual leva è il raggio del cilindro. Supponiamo di 8 metri il raggio

della ruota, di $0^m,20$ quello del cilindro, che sarà dunque 40 volte più piccolo. L'uomo, pesante 60 chilogrammi, potrà, non tenendo calcolo nè degli attriti nè delle varie resistenze accessorie, far salire con velocità 40 volte minore della propria un masso pesante 40 volte 60 chilogrammi, ovvero 2,400 chilogrammi, che sarebbero sospesi ad una lunga corda avvolgentesi sul cilindro di questo verricello, poichè, come vi sarete già accorti, qui si tratta proprio di un verricello.

Sebbene le *ruote a gradini od a piuoli* permettano all'uomo di impiegare nel miglior modo possibile le sue forze materiali, tuttavia speriamo, per l'onore dell'umanità, che l'impiego di esse divenga sempre più raro; poichè l'uomo condannato a lavoro così brutale si degrada; quel lavoro potrebbesi eseguire altrettanto bene da animali, e meglio ancora da macchine. Per lo stesso motivo speriamo di non veder più uomini attaccati a corde come bestie da soma per rimorchiare battelli; codesto sistema di trazione è riprovato anche dalla meccanica, poichè l'uomo impiegato a tirare a quel modo una corda non adopera utilmente che circa due terzi della sua forza. Quando l'uomo smuove la terra con la vanga utilizza 90 centesimi della sua forza, e soli 65 centesimi quando fa girare una manovella.

Allorchè un uomo di forza ordinaria porta un fardello, ed affinchè il lavoro eseguito in un tempo dato risulti il più grande possibile, è mestieri che il peso del fardello non superi i 50 chilogrammi. Come potremo in tal caso valutare la forza sviluppata dall'uomo? In modo semplicissimo. Ad ogni passo che facciamo, noi allontaniamo in prima le due gambe l'una dall'altra. In quest'istante il corpo si abbassa; e si rialza tosto che riavviciniamo le gambe. Ad ogni passo dunque si rialza o si solleva il peso del nostro corpo ed il

peso del fardello che portiamo, se siam carichi. Questo movimento dal basso all'alto è di circa $0^m,035$. L'uomo che cammina di passo ordinario fa circa due passi al minuto secondo. Solleva quindi ad ogni minuto secondo tanto il proprio corpo quanto il fardello di cui è gravato all'altezza di $0^m,07$. Un uomo pesante 70 chilogrammi che passeggi soltanto sopra terreno orizzontale, fa ad ogni minuto secondo lo sforzo di chilogrammi 70 sollevati a $0^m,07$, ovvero di chilogrammi 4,90 sollevati ad un metro; il che rende ragione del perchè non possiate passeggiare per lungo tempo senza provarne stanchezza. Che, se oltre al proprio peso, l'uomo deve sollevare o portare un fardello pesante 50 chilogrammi, lo sforzo da lui esercitato sarà di 8,4 chilogrammetri. Adoperando una carriuola, e senza provare maggior fatica, potrebbe in luogo di 50 chilogrammi trasportarne più di 100.

Mentre l'uomo utilizza tutta la propria forza salendo una scala, il cavallo ed il bue, causa la conformazione del loro corpo, perdono parte delle lor forze salendo un pendío. Camminando invece sopra terreno orizzontale, questi animali si affaticano meno rapidamente di noi. Sette uomini a mala pena porterebbero in pianura il carico portato da un cavallo. Trattandosi all'incontro di salire un erto pendío, converrebbe diminuire il carico del cavallo mentre tre o quattro uomini basterebbero a portarlo.

Il cavallo utilizza il massimo della sua potenza quando, attaccato ad una vettura, cammina al passo. Quando il terreno è orizzontale, supponendo che il cavallo lavori senza interruzione durante sei ore, la parte utilizzata delle sue forze sarà eguale a circa 60 o a 66 chilogrammetri, ed a 40 od a 45 soltanto quando il cavallo è impiegato a far girare un maneggio.

Non ci fermeremo a discorrere più a lungo delle forze dell'uomo e degli animali, poichè attualmente si tende ad

impiegarli quanto meno è possibile nei lavori meccanici ed a sostituire i motori che richiedono men costoso mantenimento. I men costosi di tutti sono l'acqua ed il vento, a torto però son detti motori gratuiti, poichè se anche nulla costano per sè stessi, esigono spesso, onde essere utilizzati, spese considerevoli, e più d'una volta la manutenzione di una diga o di un canale costò più che il mantenimento di cento cavalli.

Fig. 21 — Ruota a cassette.

L'acqua agisce soltanto colla sua gravità, poichè la impulsione prodotta da una corrente non è dovuta che alla gravità. Quando si può disporre d'una corrente che fornisca per esempio un metro cubico di acqua ad ogni minuto secondo, cadente dall'altezza di 2 metri, si può dirsi possessori di un motore della forza di 2000 chilogrammetri, ovvero di 26 cavalli-vapore e due terzi.

In fatto il metro cubico d'acqua pesa 1000 chilogrammi, un metro cubico d'acqua cadente dall'altezza di 2 metri equivale a 2 metri cubici, ovvero a 2000 chilogrammi cadenti dall'altezza di un metro. Forza precisamente eguale a quella necessaria a sollevare 2000 chilogrammi all'altezza di un metro, poichè facendo agire questo peso sopra

un'estremità d'una leva a braccia eguali obbligando il relativo braccio ad abbassarsi di un metro, l'altro braccio, quand'anche fosse caricato da un peso di 2,000 chilogrammi, dovrebbe alzarsi ad eguale altezza.

Per utilizzare l'acqua siccome forza motrice si adopeperano tanto ruote verticali quanto ruote orizzontali; tanto le une quanto le altre son dette *ruote idrauliche.*

Se l'acqua agisce cadendo da una certa altezza, da 4, 5, 6 metri ad esempio, si impiegano più frequentemente ruote verticali (*fig. 21*). Queste sono composte di due *corone* ovvero riunioni circolari di larghi quarti aventi lo stesso diametro, congiunti fra loro da tavole e che sono più o meno inclinate rispetto al raggio della ruota e che formano altrettante piccole casse o *truogoli* aperti esternamente e di cui la faccia situata verso l'interno della ruota è chiusa con altre tavole. Da entrambe le corone partono braccia o *razze* che vanno a terminare in un albero orizzontale che è l'asse della ruota; quest'asse termina alle estremità con due cilindretti o *perni* in ferro o ghisa, che riposano e possono girare sopra cuscinetti solidamente fissati ad un telaio di legname o sopra massi di pietra.

L'acqua cadendo sul fianco della ruota ne riempie i truogoli, e col suo peso obbliga la ruota a girare. A misura che i truogoli vannosi abbassando, e' si vuotano, e son vuoti completamente quando giungono al punto più basso. Per arrestare codeste ruote quando sono in movimento, sarebbe mestieri disporre di una forza capace a fare equilibrio al peso dell'acqua che le riempie. Possono dunque, entro a questo limite, vincere forti resistenze e trasmettere per conseguenza il loro movimento alle macchine cui sono applicate.

Poichè il volume dell'acqua e l'altezza da cui cade sono i due elementi della forza che viene utilizzata dalle *ruote a truogoli* od *a cassette,* importa disporre le cose in guisa che,

per quanto è possibile, tutta l'acqua entri nelle cassette e non ne esca che al punto più basso del giro compiuto dalla ruota. Principio questo, troppo spesso sconosciuto da ignoranti costruttori, i quali, in luogo di far giungere tranquillamente l'acqua nelle cassette della ruota (e nelle cassette più alte quando ciò sia possibile) onde trarre il miglior partito da tutta la caduta, assegnano alle ruote un diametro minore dell'altezza di questa caduta e fanno cader l'acqua con violenza nelle cassette talvolta da considerevoli altezze. Credono che l'urto prodotto a questo modo sia superiore in potenza all'azione che verrebbe prodotta dalla sola gravità. È un errore grossolano: poichè certi calcoli dei quali non possiamo qui occuparci mostrano tutto l'opposto.

Da codesti calcoli risulta una regola, dalla quale non si dovrebbe deviare che nei casi d'assoluta necessità, che cioè l'acqua deve agire sulla ruota senz'urto ed abbandonarla senza velocità. Queste ultime parole non hanno bisogno di dimostrazione, poichè è evidente che se l'acqua abbandonando la ruota conservasse velocità maggiore di quanta se ne richiede per scaricarsi liberamente, onde non mettere ostacolo con la sua presenza all'altr'acqua che le tien dietro, codesta velocità non potrebbe essere prodotta che da una forza che la ruota non avrebbe utilizzata.

Quando la caduta è molto piccola o trovasi ridotta ad una semplice corrente, come è il caso nei fiumi, si fa uso di un'altra specie di ruote verticali che diconsi *ruote a pale*, le quali a differenza dalle ruote a cassette sono aperte verso l'interno. Alle pale si dà talvolta forma *piana* e si dispongono sul prolungamento del raggio, tale altra si foggiano in *curva*. Tanto le *ruote a pale piane* (*fig. 22*), quanto le *ruote a pale curve* (*fig. 23*) sono immerse nell'acqua colla lor parte inferiore, la corrente le colpisce al basso e le obbliga a girare. Le ruote a pale curve meritano la preferenza, poichè l'acqua incontrandole non produce

che lievissimo urto, perciò queste ruote utilizzano la forza della caduta d'acqua assai più che quelle a pale piane.

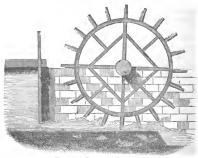



Fig. 22 — Ruota a pale piane.

L'acqua produce impulsione soltanto perchè è animata da una certa velocità; ha velocità, soltanto perchè scorre sopra un pendío, ovvero perchè cade da certa altezza; per conseguenza la sua velocità è tanto più grande quanto più grande è l'altezza della caduta. Questa velocità può sempre misurarsi mediante un *galleggiante*, un turacciolo di sughero ad esempio, gettato nella corrente. Tenendo d'occhio il galleggiante, misurando sulla sponda lo spazio che esso percorre nella corrente durante un determinato periodo di tempo, che si conoscerà col mezzo d'un orologio a secondi, e dividendo il numero dei metri percorsi pel numero dei secondi impiegati a percorrerli, si avrà, espressa in metri e frazioni di metro la velocità del galleggiante. Questa velocità è alcun poco maggiore (circa una volta e

un quarto) di quella con cui muovonsi in media le singole parti della corrente. Conosciuta questa velocità, si può sempre calcolare a qual caduta corrisponda, ricorrendo alle regole che abbiam riferite parlando delle leggi del movimento accelerato.

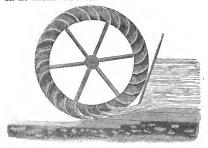



Fig. 23 — Ruota a pale curve.

Ora, la teoria insegna che la forza agente sopra una ruota a pale immersa in una corrente, come le ruote dei molini galleggianti, è eguale al peso d'una colonna d'acqua avente per base la parte immersa della superficie di una pala, e per altezza l'altezza di caduta corrispondente ad una velocità eguale alla differenza fra la velocità dell'acqua e quella della ruota. Ci limitiamo a questa sola indicazione, poichè basta a mostrarvi in qual guisa si proceda per misurare la forza agente sopra questa specie di ruote. L'entrare in maggiori particolari esigerebbe considerazioni di pura matematica che ci siam proposti di escludere da questo libriccino.

Le ruote dei battelli a vapore (*fig. 24*), somigliano molto alle ruote a pale. Pure l'ufficio cui adempiono è ben diverso. Le ruote a pale delle cartiere, delle officine, dei molini, ecc., imprimono alle macchine il movimento. Le ruote dei battelli lo ricevono invece dalle macchine a vapore. In luogo di comandare, obbediscono; in luogo di trovarsi a contatto col motore, sono a contatto con la resistenza. Non cedono all'impulso dell'acqua, ma viceversa ne imprimono all'acqua un impulso, il che non è certo un vantaggio,

Fig. 24 — Ruota dei battelli a vapore.

poichè tutta la forza spesa a mettere l'acqua in movimento, è una forza che per nulla contribuisce a far progredire il battello. È questa una delle cause che suggeriscono l'introduzione dell'*elice* nelle navi (*fig. 25*); specie di vite corta e grossa col verme molto saliente, la quale scacciando l'acqua all'indietro, in modo che per reazione il battello va avanti, ha il vantaggio di agitar meno l'acqua e di non imprimerle tante ondulazioni inutili.

Le ruote orizzontali, dette anche *turbine, ruote a cucchiai*, ecc., sono ruote a pale di piccolo diametro. L'asse di queste ruote in luogo di essere orizzontale è verticale, le pale sono più o meno curve e più o meno inclinate. Queste ruote vengono racchiuse, solitamente, in un bacino immobile. Alcune volte l'acqua arriva da una fessura praticata verso il basso del bacino e va a colpire le pale

analogamente alla corrente d'un fiume. Tal' altra volta l'acqua agisce col proprio peso sdrucciolando lungo le pale come sopra un piano inclinato costretto ad indietreggiare sotto a questo sforzo, od ancora come il vento sdrucciola sulle ali dei molini. Altrevolte infine, l'acqua agisce in virtù della forza centrifuga sviluppata dal movimento rotatorio della ruota. La teoria di queste varie specie di ruote richiede, onde essere compresa, studii troppo elevati, per il che non possiamo darvene neppure i dati principali. Ci basta dirvi che queste ruote assai leggiere, pochissimo voluminose, d'economica costruzione, rendono grandissimi servigi all'industria e tendono a sostituirsi alle vecchie ruote verticali, quando non si tratta di utilizzare delle quantità d'acqua troppo considerevoli, o delle cadute troppo piccole.

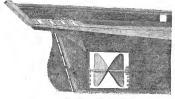



Fig. 25 — Elice.

Abbiam detto che la forza agente sulle ruote idrauliche è eguale a quella che sarebbe necessaria a sollevare in un minuto secondo il peso dell'acqua motrice che scorra sulla ruota nello stesso tratto di tempo ad altezza eguale a quella corrispondente alla velocità da cui l'acqua è animata. Ma in pratica si è ben lontani dall'aver ruote che utilizzino, trasmettendola alle macchine cui devono mettere

in movimento, la totalità di codesta forza. Parte ne assorbono gli attriti, una quantità d'acqua sempre notevole spruzza e si perde senza aver agito in alcun modo sulla ruota, altre circostanze ancora producono dispendio di forza senza alcun vantaggio per l'effetto che vuolsi conseguire. Per questi varii motivi l'*effetto utile* delle ordinarie ruote a pale piane è in media soltanto 4 decimi della forza spesa, è di 7 decimi nelle ruote a pale curve dette *alla Poncelet*, dal nome del loro inventore, e 8 decimi per le turbine meglio costrutte.

Havvi poi una terza specie di ruote idrauliche, poco note e poco usitate, che possonsi indifferentemente collocare verticalmente, orizzontalmente od in posizione inclinata. Queste *ruote* diconzi a *reazione*. Non le menzioneremmo neppure se non ci porgessero occasione di parlarvi d'un particolar modo con cui le forze possono agire.

Immaginate una botte piena d'acqua, collocata per lungo ed orizzontalmente su d'un leggiero vagone di ferrovia. L'acqua che riempie la botte ne preme egualmente i due fondi. Perciò botte e vagone sono immobili. Apriamo un largo foro verso il basso d'uno dei due fondi. L'acqua sgorgherà da questo foro ed appunto per questo non eserciterà pressione alcuna sulla porzione di fondo che fu sottratta onde praticarvi il foro. Dunque, la pressione esercitata dalla gravità dell'acqua sul fondo non forato sarà maggiore della pressione esercitata sull'altro fondo; basterà questa differenza per far avanzare il vagone dal lato opposto a quello in cui è praticato il foro. La forza che fa avanzare il vagone a questo modo, e che nel caso nostro è la gravità, ricevette il nome di *forza di reazione*.

Un razzo è in tutto analogo alla nostra botte. È una piccola botte, un piccolo cilindro di cartone, uno dei cui fondi è forato per dar passaggio ad una miccia. Non appena accendete la miccia tenendola rivolta all'ingiù, il

fuoco propagasi nell'interno del razzo ed infiamma la polvere. La combustione della polvere produce gas che preme violentemente le pareti ed i fondi del cilindro, le pareti sono egualmente premute, ma dei due fondi è maggiormente premuto quello non forato, il che obbliga il razzo a slanciarsi nell'aria verticalmente od obliquamente, a seconda ch'ei si trovava in posizione verticale ed inclinata nell'istante dell'accensione della miccia. Avrete senza dubbio assistito molte volte ai fuochi d'artificio; avrete quindi piacere a conoscere il perchè della salita dei razzi.

Immaginiamo dunque un tubo aperto alle due estremità, avente la forma di una Z (*fig. 26*). Perpendicolarmente al piano, alla faccia del tubo, supponiamo un vaso comunicante coi due rami del tubo. Inferiormente a questo vaso, e come se continuasse, fissiamo un perno girevole in una ralla e collochiamo all'ingiro della parte superiore del vaso un collare entro al quale potrà girare liberamente. Orbene, se faremo giungere dell'acqua nel vaso pel suo orificio superiore, quest'acqua premerà contro i gomiti del tubo a Z e non contro le sue estremità aperte, per le quali sgorgherà. La forza di reazione costringerà vaso e tubo a girare. Ciò che in linguaggio da fuochi d'artificio, ovvero in *pirotecnica*, dicesi *soli* o *fuochi girevoli*, è in meccanica *ruote a reazione;* in queste la pressione del

Fig. 26.

gas prodotta dall'infiammazione della polvere è sostituita dalla pressione dovuta alla gravità dell'acqua.

Il vento è anch'esso, come l'acqua, un motore; è meno utilizzato perchè non è costante e perchè la sua velocità è soggetta ad irregolarità continue. Abbiam detto, parlando del piano inclinato, come agisca il vento sulle ali dei molini, specie di ruote le cui pale sono di tela. Senza ritornare sull'argomento, ci sembra però utile il dire alcunchè della velocità e della forza d'impulsione del vento, poichè l'idea che se ne ha generalmente è molto erronea.

La velocità del vento varia fra i 2 ed i 20 metri al minuto secondo. La velocità dei venti considerati rapidissimi, di quei venti che obbligano i naviganti a chiudere le vele superiori, non eccede i 12 metri, ed è per conseguenza inferiore alla velocità dei convogli ferroviarii. I venti dotati di velocità superiore ai 18 metri sono prodotti da vere tempeste, e soltanto in America, alle Antille, in mezzo ad uragani eccezionali sì, ma terribili, la velocità del vento giunge ai 40 e talvolta ai 50 metri al minuto secondo.

Per giudicare sperimentalmente della forza d'impulsione del vento corrispondente alle diverse sue velocità si ricorse a varii ingegnosi apparecchi. Ne citeremo uno solo, che comprenderete certamente. Collochiamo sopra ruotaie un vagone assai leggiero, da potersi mettere in movimento con la forza più lieve. Fissiamo sopra questo vagone una lastra di lamiera di ferro avente un metro quadrato di superficie. Attacchiamovi una corda che faremo passare sopra una puleggia fissata fra le rotaie, ed all'estremità libera di questa corda, che faremo discendere in un pozzo, sospendiamo un peso conveniente. Il vento farà camminare il vagone con una certa velocità, ed il peso percorrerà, salendo, un certo numero di metri ad ogni minuto secondo. Ciò servirà a darci immediatamente la misura della forza del vento.

Queste esperienze mostrarono che l'impulsione del vento dotato della velocità di 2, 6, 9, 12, 15 e 20 metri, sopra una lastra avente un metro quadrato di superficie sulla quale il vento soffii perpendicolarmente, è rispettivamente di 7, 22, 32, 43, 54 e 72 chilogrammi. Supererebbe i 300 chilogrammi nelle spaventose velocità prodotte dalle tempeste delle regioni equatoriali, perciò si comprende come possano sradicare alberi annosi e rovesciare anche i meglio costrutti edifici.

Avrete udito ripetere talvolta che il vento arrestò il corso dei convogli sulle ferrovie. Ciò non è assolutamente impossibile, ma non devesi immaginare che si tratti di vento opponentesi direttamente alla direzione del convoglio. La superficie d'un convoglio veduto di faccia non giunge ai 6 metri quadrati, ed i più grandi venti della nostra Europa non eserciterebbero adunque su di essa che una pressione inferiore ai 500 chilogrammi. Il cammino del convoglio è contrariato dal vento che lo colpisce di fianco. Lo sviluppo della superficie del fianco d'un convoglio può giungere ai 300 metri quadrati ed il vento può sov'essa esercitare una pressione fino di 20,000 chilogrammi. Quest'enorme pressione spinge il convoglio contro le rotaie opposte al lato da cui soffia il vento, obbligando la sporgenza delle ruote ad appoggiarsi con forza al fianco della rotaia, e produce un attrito che può essere talmente considerevole da non bastare a vincerlo la forza della macchina.

CAPITOLO V.

Le pompe. — Lo strettoio idraulico.

Poichè abbiamo incominciato a passare in rivista i diversi motori, avendo già parlato dell'acqua e del vento, dovremmo ora occuparci del calorico. Tuttavia, siccome la meccanica non utilizza il calorico che mediante macchine a vapore, così ci si permetterà di deviare un pochino dal cammino che dobbiam seguire, per dire qualche cosa intorno agli organi principali di codeste macchine. Senza conoscere, almeno superficialmente, in qual modo sono costrutte e funzionano le *pompe*, sarebbe impossibile comprendere la descrizione che avremo a fare della macchina a vapore.

L'aria che ci circonda è pesante. Abbiam già detto che un metro cubico d'aria pesa circa $1^{chil.}$,300. Se tutta quanta l'atmosfera avesse soltanto un metro di spessore, ciascun metro quadrato componente la superficie della Terra sopporterebbe soltanto il peso d'un metro cubico d'aria, ogni metro quadrato proverebbe quindi la pressione di $1^{chil.}$,300. Ma superiormente a questo metro cubico d'aria se ne trova un altro, poi un altro, e molti altri ancora, in guisa che il peso di tutti questi metri cubici d'aria sovrapposti produce sopra ogni metro quadrato di superficie la pressione di circa 10,000 chilogrammi.

Non affrettatevi a concluderne che lo spessore dello strato d'aria che investe la nostra Terra sia di chilogrammi 10,000 divisi per 1,300, dunque di 7,692 metri. Vi ingannereste, e molto: lo spessore dello strato d'aria che ci circonda, lo spessore cioè dell'atmosfera, è quasi dieci volte più considerevole, poichè la densità e conseguente-

mente il peso del metro cubico d'aria va diminuendo tanto più quanto più si va in alto nell'atmosfera.

Ma se è proprio vero che la pressione esercitata dall'aria è talmente grande, ammettendo che la superficie del corpo umano sia di $0^m,40$, ne verrebbe che porteremmo sulle spalle il peso non indifferente di 4,000 chilogrammi; della qual cosa dovremmo pure essercene accorti. Tuttavia ciò succede senza che ce ne avvediamo, poichè questa pressione si esercita ad un tempo sopra tutti i nostri organi tanto interni quanto esterni, l'una equilibra l'altra, ed inoltre bisogna notare che siamo organizzati in modo da resistervi, ed avendola sempre sopportata, ci è impossibile l'accorgerci di sopportarla. Questa pressione non può produrci alcuna sensazione, poichè ogni sensazione suppone una nuova modificazione; suppone che un cambiamento si produca nei nostri organi, mentre invece questa pressione non è una novità pei nostri organi, non è cosa impreveduta, non solo vi ci siamo abituati, ma è per noi una necessità.

Un'altra obbiezione vi si presenterà certo alla mente. Quando io sono in istrada, o nell'aperta campagna, direte, porto invero sulle spalle codesta lunga e pesante colonna d'aria; ma chiudendomi nella mia stanza l'altezza della colonna d'aria ch'io sopporto non supera il soffitto, e per conseguenza in luogo d'essere alta 70 chilometri, sarà alta solitamente dai 3 ai 4 metri soltanto. Essa dovrebbe per conseguenza essere molto meno pesante; ed io dovrei almeno accorgermi di questa notevole diminuzione nella pressione che sopporto.

È verissimo; se la stanza è ben chiusa non sopporterete direttamente tutto il peso della colonna atmosferica; ma sopporterete, il che torna precisamente lo stesso, la pressione d'una molla tesa da codesta colonna. Questa molla è l'aria che vi circonda; poichè non dovete obliare

che l'aria è elastica. Ogni volume d'aria compresso dal peso dei volumi d'aria soprastanti tende, al cessare di questa compressione, ad aumentar di volume, a reagire contro ciò che lo circonda, con forza eguale alla pressione esercitata sovr'esso dalla colonna atmosferica. Avete un bel chiudervi in stanza, non potrete per questo sottrarvi a codesta pressione. Supponete un vaso pieno di gomma elastica, sulla cui bocca si innalzi una colonna formata della stessa materia. Il peso della colonna comprimerà la gomma elastica contenuta nel vaso, la quale in virtù di codesta compressione ne premerà con forza le pareti. Tagliate la colonna comprimente usando una lama bene affilata, e subito dopo chiudete solidamente ed ermeticamente la bocca del vaso. La gomma elastica contenutavi non cesserà di premerne le pareti; soltanto questa pressione non sarà più una conseguenza del peso sopportato, bensì una conseguenza dell'elasticità della gomma. La stessa cosa avviene relativamente all'aria, nella stanza ed in qualsiasi luogo preservato per una causa qualsiasi dalla diretta influenza dell'aria esterna.

Ora che ci siamo intesi, prendiamo un lungo tubo ed immergiamolo in un pozzo, in modo che l'estremità inferiore del tubo peschi di un metro ad esempio nell'acqua del pozzo. È chiaro che l'acqua che entrerà nel tubo e quella del pozzo rimarranno allo stesso livello, poichè tanto l'una quanto l'altra trovansi soggette alla stessa pressione, alla pressione della colonna atmosferica. Chiudiamo esattissimamente l'estremità superiore del tubo, non per questo cangieranno le cose: l'acqua racchiusa nel tubo non proverà alcuna diminuzione di pressione come non ne provate voi chiudendo con tutta cura le porte e le finestre della vostra stanza; quell'acqua sarà ancora compressa dall'elasticità dell'aria contenuta nel tubo.

Con un mezzo qualunque, sopprimiamo la massima

parte di quest'aria, diminuiremo cosi la tensione di questa molla; cosa succederà? La colonna d'aria che gravita sull'acqua del pozzo è pesante solo perchè è attratta dalla Terra; non obbedisce a quest' attrazione perchè è impedita dall'acqua che essa non può spingere da nessuna parte, per farvisi strada. Se vi fosse, a qualche profondità, un foro nella parete del pozzo, e se al di là di questo foro non vi fosse nè terra nè altro che opponesse ostacolo all'acqua, il peso della colonna atmosferica obbligherebbe l'acqua ad andarsene tutta pel foro. Questo foro che prima non esisteva, esiste adesso; questo foro è l'orificio inferiore del tubo.

Se l'acqua del pozzo scappa per di là, il suo livello dovrà abbassarsi e la colonna d'aria, discendendo anch'essa, potrà finalmente obbedire all'attrazione terrestre. Ma, direte voi, l'acqua per andarsene per quell' orificio sarà costretta a salire, ed il salire è cosa contraria alla sua natura. Ma perchè? chi vi ha detto che il salire è proprio contrario alla natura dell'acqua? La vediamo pur salire nei pozzi artesiani e nei zampilli. Dite invece che, come ogni altro corpo, l'acqua non sale quando nulla ve la costringa, ed allora direte il vero.

L'acqua è spinta dal peso dell'aria; deve dunque necessariamente salire nel tubo, a meno che non incontri un ostacolo che ne impedisca la salita; ma non può incontrare ostacoli, poichè il tubo nulla contiene, avendone ormai estratta tutta l'aria che vi era prima. Fino a quale altezza salirà quest'acqua? fino all'altezza di 10 metri circa e non più. E perchè? Lo vedremo subito.

Supponiamo che, giunta l'acqua all'altezza di 10 metri, si chiuda con un sottil foglio di pergamena l'orificio inferiore del tubo; questo foglio di pergamena sarà premuto da un lato: anzitutto dal peso di un metro d'acqua, se il tubo è immerso di un metro nell'acqua del pozzo, e

poi dal peso della colonna atmosferica che preme sopra quest'acqua; dall'altro lato quel foglio sarà premuto nell'interno del tubo, dal peso della colonna d'acqua alta un metro che vi si trova fin da prima, e della quale non occorre tener calcolo, poichè è equilibrata dal peso della colonna alta un metro di cui abbiam già discorso; sarà inoltre premuto dalla colonna d'acqua di 10 metri sollevatasi nel tubo. Dunque il foglio di pergamena è premuto da una parte dal peso della colonna atmosferica e dall'altra da una colonna d'acqua alta 10 metri; ma queste pressioni sono eguali, poichè abbiam detto che la pressione dell'aria sopra la superficie di un metro quadrato è di 10,000 chilogrammi; e siccome un metro cubo d'acqua pesa, come già sappiamo, 1000 chilogrammi, così una colonna d'acqua avente per base un metro quadrato e per altezza 10 metri, peserebbe del pari 10,000 chilogrammi. Analogamente un decimo di metro quadrato subirebbe dall'aria la pressione di 1000 chilogrammi, ed eguale sarebbe il peso d'una colonna d'acqua avente un decimo di metro quadrato per base e per altezza 10 metri, e del pari qualsivoglia superficie esposta alla pressione dell'aria subisce una pressione eguale a quella derivante da una colonna d'acqua d'egual base, avente 10 metri di altezza. È dunque impossibile che l'acqua si innalzi oltre a 10 metri superiormente all'acqua rimasta nel pozzo; converrebbe che la colonna atmosferica potesse sollevare un peso maggiore del proprio.

Già da molti secoli si sapeva che operando il vuoto in un tubo immerso nell'acqua, l'acqua vi si innalza, ma soltanto fino a una certa altezza, senza mai superarla. Un grande italiano, Galileo Galilei (1), l'illustre pensatore condannato

(1) Nato in Pisa il 15 febbraio 1564, morto nella villa di Arcetri presso Firenze il giorno 9 gennaio 1641.

dall'Inquisizione perchè aveva avuto l'ardire di sostenere che il sole non gira intorno alla Terra, ma che invece è la Terra che gira intorno al sole, Galileo adunque, mentre un giorno passeggiava in un giardino presso a Firenze, fu interrogato da un giardiniere per qual motivo l'acqua si alzasse in un tubo in cui si fosse praticato il vuoto. Galileo gli rispose, ripetendo ciò che si insegnava allora nelle scuole: la natura avere orrore del vuoto, e così l'acqua piuttosto che lasciare uno spazio vuoto, salire nel tubo tosto che sia estratta l'aria. Ma il giardiniere, forse poco soddisfatto da codesta risposta, insistette e chiese per qual motivo l'acqua non giungeva più alto. Galileo rimase un po' imbarazzato, avrebbe voluto tacere, ma per non fare brutta figura restando muto, si decise a rispondere che ciò avveniva perchè la natura ha orrore del vuoto soltanto fino ai 32 piedi, 10 metri all'incirca.

A quei tempi chi domandava conto della spiegazione d'un fenomeno qualunque, udivasi rispondere dai teologi che era Dio, e dai filosofi che era la natura, che così voleva. Accontentandosi di simili risposte, non vi ha scienza che sia possibile. E Galileo lo sapeva. Perciò ritornando col pensiero alla risposta poco soddisfacente data al giardiniere, riflettè più ponderatamente alla questione che gli era stata fatta, e le sue riflessioni portarono uno splendido risultato per la scienza e per l'umanità; la scoperta del peso dell'aria e della teoria di cui abbiam dati testè gli elementi. Questa scoperta ammirabile guidò poi uno dei suoi discepoli, Torricelli, all'invenzione del *barometro* e di alcuni altri strumenti, che furono il punto di partenza per una completa rivoluzione scientifica.

L'acqua si alza dunque in un tubo dal cui interno sia stata scacciata l'aria. Mediante un tubo, possiamo quindi far salire l'acqua da un pozzo, da un fiume, da un

serbatoio qualunque, onde adoperarla ai varii usi domestici, ai bisogni dell'industria o dell'agricoltura, purchè si estragga l'aria contenuta nel tubo.

Ecco in qual modo si procede: Apriamo la parte superiore del tubo, che fino ad ora era rimasta accuratamente chiusa; introduciamovi uno *stantuffo.* Si dà questo nome ad un corpo solido che riempie esattamente, per una piccola altezza, l'interno d'un tubo cilindrico, lungo il quale e' può muoversi. Un turacciolo di diametro tale che premuto col dito possa, come succede talvolta, discendere sul fondo della bottiglia ch'ei dovrebbe turare, è uno stantuffo. Ordinariamente gli stantuffi si fanno di legno o di metallo; son dischi rotondi di mediocre spessore, il cui contorno è guarnito di stoppa, di cuoio, di gomma elastica od anche di semplici lame metalliche disposte a molla, in guisa da riempire esattamente l'interno dei tubi o del cilindro nel quale son collocati. Onde poter manovrare questi dischi, si fissa perpendicolarmente al loro piano una bacchetta o *gambo* di ferro, lungo tanto da sporgere al di fuori dei tubi o dei cilindri contenenti gli stantuffi.

Introduciamo dunque uno stantuffo nel tubo, la cui parte superiore ha, per solito, un diametro alquanto maggiore dell'altra che pesca nel pozzo. Pratichiamo un foro in questo stantuffo, foro che muniremo di una valvola apribile soltanto dal basso all'alto. Dicesi *valvola* una piastra munita di cerniera, destinata ad aprire od a chiudere il foro sul quale è adattata in piano, similmente ad una porta che apre o chiude una stanza. Si dice che la valvola adattata allo stantuffo è apribile dal basso all'alto, poichè permette a ciò che è contenuto nel tubo, inferiormente allo stantuffo, di escirne pel foro ch'essa ricuopre, e perchè la stessa valvola impedisce a ciò che trovasi superiormente allo stantuffo di passare per quel foro nella parte inferiore

del tubo. Muniamo d'una valvola così fatta anche l'orificio della porzione di tubo immersa nell'acqua del pozzo.

Fra l'acqua del pozzo, o meglio, fra l'acqua entrata naturalmente nel tubo e lo stantuffo, trovasi una certa colonna d'aria. Per mezzo del gambo, solitamente mosso da una leva, obblighiamo lo stantuffo ad abbassarsi di $0^m,50$. Abbassandosi, comprimerà l'aria che trovasi sotto di lui. Piuttosto che lasciarsi comprimere, quest'aria cercherà di andarsene. Non potrà scappare pel basso del tubo: da questa parte l'aria incontra l'acqua che non cede dinanzi a quella compressione, poichè la valvola inferiore le impedisce di escire e di rimescolarsi coll'altra acqua del pozzo. Quest'aria che vuol scappare, non ha dunque altra escita che il foro praticato nello stantuffo, foro ch'essa potrà traversare facilmente, poichè la valvola che vi è applicata si apre dal di dentro al di fuori. Da quel foro scapperà un volume d'aria eguale precisamente alla diminuzione di volume che, in seguito alla discesa dello stantuffo, subì la capacità interna del tubo.

Per meglio fissare le idee, supponiamo che il tubo abbia dappertutto lo stesso diametro, che la lunghezza della porzione compresa tra la faccia inferiore dello stantuffo prima che incominci a discendere ed il livello dell'acqua nel pozzo sia di 10^m (e qui notiamo che in pratica convien sempre rimanere al disotto di questa lunghezza), ed infine supponiamo che la capacità di detta porzione sia di 100 litri. Se lo stantuffo scende di $0^m,50$, la capacità del tubo diminuirà d'un ventesimo, e dei 100 litri d'acqua prima contenuti nel tubo ne sfuggiranno 5 traverso il foro dello stantuffo.

Alziamo ora lo stantuffo, e con ciò la capacità interna del tubo ritornerà ancora ad essere di 100 litri come prima; ma siccome non vi son rimasti che 95 litri d'aria,

così quest'aria avendo maggior spazio a sua disposizione si dilaterà. L'azione elastica che essa esercita si allenterà. Essendone allentata l'elasticità, quest'aria non potrà più equilibrare la pressione della colonna atmosferica. L'aria esterna cercherà dunque di penetrare nel tubo traverso il foro dello stantuffo, ma non vi riescirà, poichè mentre farà il possibile per passarvi obbligherà invece la valvola a rimaner chiusa, perchè questa valvola si apre soltanto dal di dentro al di fuori.

Le cose non rimarranno in questo stato. Il peso della colonna atmosferica, il peso dell'aria esterna premente l'acqua del pozzo, la obbligherà a salire nel tubo la cui valvola inferiore è mantenuta chiusa soltanto dall'aria imprigionata, aria la cui elasticità è, come abbiam detto, diminuita, e quindi non può resistere alla pressione dell'atmosfera. L'acqua non vi salirà che all'altezza necessaria per ridurre a 95 litri la capacità interna del tubo, poichè allora i 95 litri d'aria rimasti nel tubo si troveranno ricondotti alla pressione che avevano dapprincipio e che dava ad essi una potenza elastica capace di fare equilibrio all'aria esterna. Entreranno dunque 5 litri d'acqua nel tubo, ovvero l'acqua vi si innalzerà per $0^m,50$.

Abbassando nuovamente lo stantuffo, scaccieremo altri 5 litri d'aria, che verranno tosto sostituiti da altrettanta acqua. Continuando a questo modo, dopo aver alzato ed abbassato lo stantuffo un certo numero di volte, l'acqua riempirà il tubo e sarà giunta a toccare la faccia inferiore dello stantuffo. Avremmo anche potuto dispensarci da questo lavoro preliminare sollevando con la mano la valvola superiore e versando pel foro che essa ricuopre, tanta acqua quanta ne abbisogna per riempiere il tubo e scacciarne tutta l'aria. Il che dicesi *adescare* la pompa, poichè il lettore ha già compreso che la macchina, della quale andiamo spiegando il giuoco, è una *pompa*, ed una

pompa della specie che ben a ragione dicesi *aspirante*, poichè in certo modo aspira l'acqua come noi possiamo aspirarla con la bocca mediante un cannello.

Abbassiamo nuovamente lo stantuffo. Sotto ad esso non c'è più aria. Esso comprimerà direttamente l'acqua di cui è ripieno il tubo in cui esso stantuffo discende. Quest'acqua compressa cercherà un'uscita da qualche apertura. Quella al basso essendo chiusa dalla valvola inferiore, l'acqua solleverà l'altra valvola che guarnisce il foro praticato nello stantuffo, traverserà questo foro e verrà a collocarsi superiormente allo stantuffo.

Se ora alziamo di bel nuovo lo stantuffo, l'acqua che lo ricuopre si solleverà anch'essa e traboccherà dalle pareti del tubo, a meno che non trovi un foro, cui di solito si adatta un becco, dal quale l'acqua sgorga per servir poscia agli usi cui vuolsi destinarla.

Ma che succede frattanto al disotto dello stantuffo? Il vuoto che alzandosi ei lascia dietro a sè è colmato immediatamente da nuova acqua giungente dal pozzo, sempre traverso l'orificio inferiore del tubo, che a questo modo rimarrà sempre pieno. Se le cose andassero diversamente, se l'acqua non salisse nel tubo a misura che lo stantuffo va alzandosi, la colonna d'acqua racchiusa nel tubo, alta meno di 10 metri, graviterebbe sola sulla valvola inferiore, poichè superiormente ad essa, fra essa valvola e lo stantuffo, vi sarebbe il vuoto, vale a dire nulla che sia pesante. Ora, affinchè il peso di questa colonna d'acqua potesse mantener chiusa la valvola, converrebbe che la colonna d'acqua equilibrasse il peso della colonna atmosferica che gravita sull'acqua del pozzo, il che è impossibile poichè per equilibrare il peso della colonna atmosferica è necessario che una colonna d'acqua abbia 10 metri d'altezza.

Quando adunque si innalza lo stantuffo, succedono due

cose: l'acqua già aspirata che lo ricuopre è obbligata a sgorgare dal becco adattato alla parte superiore del tubo, e nuova acqua viene aspirata. Nella discesa dello stantuffo succede una cosa sola: ei costringe una parte dell'acqua che trovasi inferiormente ad esso ad attraversarlo ed a collocarsi sulla sua faccia superiore, da dove poi la scaccierà non appena ricomincierà a salire.

Per completare quanto devesi conoscere da tutti relativamente alle *pompe aspiranti*, notiamo che la porzione sempre breve di tubo in cui sale e scende lo stantuffo, ben tornita internamente allo scopo di diminuire gli attriti, porta il nome di *corpo di pompa*, il restante del tubo è distinto col nome di *tubo d'aspirazione*.

Fin qui abbiam supposto lo stantuffo direttamente manovrato dalla mano. Cotesto non sarebbe il mezzo più comodo, perciò il più delle volte si attacca il gambo dello stantuffo all'estremità d'un braccio di leva, che in luogo di essere sostenuto da un semplice punto d'appoggio è traversato da un asse o perno collocato sopra cuscinetti fissati alla lor volta ad un sostegno in legno od in ferro; l'altro braccio di leva molto più lungo del primo è alternatamente sollevato ed abbassato sia da un uomo sia da un motore meccanico qualunque. Essendo che poi, come abbiamo veduto, lo stantuffo lavora più nella salita che nella discesa, così torna vantaggioso l'immagazzinare in qualche modo la forza ch'ei non assorbe nella discesa per impiegarla ausiliariamente quando nella salita ne assorbe di più. Rammenterete che tale ufficio adempiono i *volanti*. Perciò si adatta un volante nelle pompe ben costrutte, onde regolarizzarne i movimenti.

Ammettendo che un uomo faccia salire o scendere lo stantuffo di una pompa una volta ogni 10 secondi — se conserviamo le cifre arbitrariamente scelte fin da principio — egli solleverà 5 litri d'acqua, ovvero 5 chilogrammi

in 10 secondi, ossia mezzo chilogrammo ogni secondo ad altezza che abbiam supposta di 10 metri; innalzare mezzo chilogrammo a 10 metri, o 5 chilogrammi ad un metro torna precisamente lo stesso. Dunque l'*effetto utile* prodotto da quell'uomo sarà di 5 chilogrammetri; tuttavia ei faticherà tanto quanto eseguendo un lavoro più considerevole; il che non deve stupirvi considerando che oltre al lavoro utile egli ne fa un altro non utile, egli supera la resistenza opposta dagli attriti: dello stantuffo nel corpo di pompa, dell'acqua nel tubo d'aspirazione, del perno della leva sovra i suoi cuscinetti ecc., ecc.; avrà inoltre sollevata senza alcun vantaggio una certa quantità d'acqua che sarà ricaduta nel tubo scorrendo fra la guarnitura sempre imperfetta e più o meno logora dello stantuffo e le pareti del corpo di pompa. Questa forza spesa inutilmente è nelle pompe ordinarie eguale ad un ottavo, e talvolta anche ad un quinto della forza impiegata; per modo che una pompa può dirsi ben costrutta quando il suo effetto utile rappresenta i nove decimi dell'effetto totale ottenuto.

Sonvi altre pompe, dette *prementi*, in gran parte analoghe a quelle testè descritte; soltanto lo stantuffo non porta nè foro nè valvola; è tutto d'un pezzo massiccio, è *cieco*, la parte inferiore e molto corta del tubo che viene in seguito al corpo di pompa comunica, mediante apertura munita di valvola aprentesi dal di dentro al di fuori, con un lungo tubo ascendente che si innalza fin sopra al pozzo; verso il fondo del pozzo, e completamente immerso nell'acqua, trovasi il corpo di pompa, mentre nelle pompe aspiranti il corpo di pompa, se vi rammentate, è collocato in alto e fuori del pozzo.

Quando lo stantuffo si innalza, non vi ha aria da estrarre e non c'è bisogno di produrre aspirazione alcuna, poichè l'acqua in virtù del proprio peso va a riempire lo spazio

che lo stantuffo lascia vuoto dietro a sè. L'acqua non si innalza, tende soltanto a portarsi nel corpo di pompa allo stesso livello che ha nel pozzo. Al discendere dello stantuffo, l'acqua ormai entrata nel corpo di pompa vien compressa, e quest'acqua non trovando uscita alcuna nello stantuffo, perchè, giova ripeterlo, questo stantuffo è cieco, senza fori, è costretta ad andarsene salendo nel tubo ascensionale che si stacca dal basso della pompa.

Nel rialzarsi dello stantuffo, mentre nuova acqua penetra sotto a lui nel corpo di pompa, l'acqua già salita nel tubo ascensionale non può discendervi, essendo impedita dalla valvola posta alla parte inferiore di detto tubo, valvola che si apre soltanto dal di dentro al di fuori. Ad ogni discesa lo stantuffo sospinge nuova acqua nel tubo ascensionale, e questo dopo un certo numero di colpi trovasi tanto colmo d'acqua che la vi trabocca sgorgando dall'orificio superiore.

Convien notare che, se nelle pompe aspiranti l'acqua, per la ragione già detta, non può alzarsi oltre i 10 metri, nelle pompe prementi all'incontro, ed è questo il vantaggio che presentano, l'altezza cui può giunger l'acqua non ha quasi limite, essendo determinata soltanto dalla pressione che sopra vi esercita lo stantuffo. Supponiamo ad esempio che uno stantuffo, la cui superficie sia un centesimo di metro quadrato, sia compresso, e per conseguenza comprima l'acqua con forza eguale a quella che eserciterebbe un peso di 1,000 chilogrammi, in tal caso l'acqua potrebbe giungere all'altezza di cento metri. Se ne vede presto il motivo: poichè un metro cubico d'acqua pesa 1,000 chilogrammi, una colonna d'acqua alta 100 metri ed avente per base un metro quadrato peserebbe 100,000 chilogrammi. Ma se la base di detta colonna, che nel caso nostro è rappresentata dalla superficie dello stantuffo, è soltanto la centesima parte di un metro quadrato, la co-

lonna d'acqua peserà 100 volte meno, peserà dunque 100,000 diviso per 100, ossia 1000 chilogrammi, e potrà quindi essere equilibrata dalla forza di 1000 chilogrammi che si esercita sullo stantuffo. Potrebbesi anche con una pressione metà più piccola far salire l'acqua alla stessa altezza, bastando a tale scopo diminuire della metà la superficie dello stantuffo: e ciò perchè una colonna d'acqua alta 100 metri, avente per base la metà di un centesimo di metro quadrato, pesa soltanto cinquecento chilogrammi. Si noti però che in tal caso ogni colpo di stantuffo innalzerebbe una quantità d'acqua metà meno considerevole.

Se in luogo d'essere molto lungo, il tubo d'ascensione misurasse uno o due metri soltanto ed andasse restringendosi in modo da terminare con un orificio di piccol diametro, l'acqua salirebbe ad un dipresso alla stessa altezza, però in forma di getto. A questo modo son costrutte le pompe da incendio, e tutti sanno con quanta potenza ed a quale altezza l'acqua può essere proiettata da queste pompe. Inutile soggiungere che questa potenza è dovuta agli uomini, i quali per mezzo d'una leva premono fortemente lo stantuffo.

Benchè di solito queste pompe si accoppino a due a due, pure il loro getto risulterebbe intermittente se non si avesse trovato il mezzo di rimediarvi in modo assai semplice. L'acqua estratta dalle pompe vien ricevuta, prima di slanciarsi nell'aria, in una cassa o recipiente pieno d'aria. L'acqua non può escire da questo recipiente che traversando un'apertura appena bastante a lasciar passare la metà dell'acqua sollevata ad ogni discesa di stantuffo. L'altra metà dell'acqua affluente si accumula nel recipiente e comprime l'aria contenutavi, quest'aria trovasi perciò ridotta ad occupare metà spazio di prima. Mentre lo stantuffo risale e non sopravviene altr'acqua, l'elasticità

di quest'aria compressa spinge alla sua volta l'acqua rimasta nel recipiente e la costringe ad escire per l'apertura che già diede passaggio al getto, che per tal modo risulta non interrotto.

Riescendo talvolta incomodo dover collocare il corpo di pompa nell'acqua, in fondo per esempio ad un pozzo, ove sarebbe difficile visitarlo onde praticarvi le riparazioni necessarie, si ideò una terza specie di pompe, *aspiranti e prementi*, che partecipano della natura d'entrambe le specie di cui abbiamo discorso.

Queste pompe non differiscono dalle pompe prementi che nel lungo tubo d'aspirazione. Il corpo di pompa è bensì situato fuori d'acqua ed all'esterno del pozzo, ma lo stantuffo in luogo d'avere lo spessore di un semplice disco si compone di un cilindro lungo abbastanza per potere, giunto al basso della sua corsa, toccare l'acqua del pozzo. Siccome poi questo cilindro riempie esattamente soltanto la parte superiore del corpo di pompa, la quale è guarnita di stoppa, così ei lascia fra sè e le pareti del tubo di aspirazione un piccolo spazio che rimane pieno d'aria; si scaccia quest'aria versando nel corpo di pompa, per un foro, praticato alla sua parte superiore e che poi si chiude mediante un robinetto, un po' d'acqua che va ad occupare il posto di quell'aria scacciandola per un altro foro, che si ha poi cura di chiudere. A questo modo lo stantuffo rimane completamente immerso nell'acqua.

Questa pompa può allora funzionare assolutamente come la pompa premente, con la sola differenza che al risalire dello stantuffo, l'acqua del pozzo non penetra nella pompa soltanto per mettersi a livello, ma anche perchè è aspirata dallo stantuffo, in causa della pressione esercitata su quest'acqua dalla colonna atmosferica che gravita sull'acqua del pozzo; l'acqua già aspirata dallo stantuffo lo segue nel suo movimento ascensionale. Al discendere

dello stantuffo l'acqua vien compressa ed espulsa proprio come nella pompa premente.

Lo *strettoio* o *torchio idraulico* presenta una felicissima applicazione del giuoco delle pompe. Quest'applicazione si scosta alquanto dalla questione dei motori cui ci preme far ritorno; è però tanto importante, che presentandosene l'occasione non crediamo poterci dispensare dal farvene cenno.

Rammentiamo prima di tutto quanto si è detto della leva. Quando i bracci ne sono eguali, è necessario per l'equilibrio che i pesi sopportati dai bracci sieno pure eguali; quando i bracci hanno lunghezze ineguali, il peso collocato all'estremità del maggiore deve essere più debole; e ciò perchè in compenso il di lui movimento è più rapido del movimento del braccio minore. Or bene, siccome il modo d'agire del torchio idraulico ha la massima analogia con quello della leva, così se il lettore ha ben presenti alla mente le spiegazioni che intorno alla leva abbiam date, gli riescirà facile comprenderne la teoria, anco senza ricorrere a considerazioni che entrano piuttosto nel dominio della fisica.

Un torchio idraulico si compone d'una piccola pompa premente od aspirante e premente il cui tubo d'ascensione, di solito orizzontale, comunica col fondo d'un gran cilindro di ferro fuso disposto verticalmente, aperto all'insù. Nell'interno del cilindro trovasi un rubusto stantuffo di diametro tale da riempiere esattamente la cavità del cilindro, contro le pareti del quale ei si adatta esattamente mediante una guarnitura di cuoio.

Premuto dall'acqua continuamente iniettata sotto di lui dalla pompa, quello stantuffo tende a sollevarsi, però assai lentamente. Se infatti, verbigrazia, la sua superficie è di un quarto di metro quadrato; perchè ei possa alzarsi ad esempio di $0^m,20$, sarà mestieri onde riempiere il vuoto

ch'ei lascia dietro a sè, che la pompa abbia spinti 50 litri d'acqua nel cilindro; ora, se la corsa dello stantuffo della pompa è pure di $0^m,20$ e se la sua superficie è un centesimo di quella dello stantuffo grande, lo stantuffo della pompa dovrà a tale scopo abbassarsi cento volte e per conseguenza fare una serie di movimenti la cui somma sarà cento volte più considerevole dell'unico movimento operato dallo stantuffo grande.

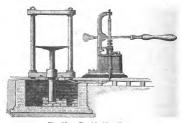



Fig. 27 — Torchio idraulico.

Lo stantuffo piccolo potrebbe essere paragonato al braccio maggiore d'una leva, il punto d'appoggio della quale sarebbe l'acqua ed il cui braccio minore sarebbe lo stantuffo grande, e quindi con lievissima modificazione si potrebbe applicare la regola generale a questa macchina dicendo che *per l'equilibrio è necessario che i pesi di cui son caricati i due stantuffi sieno proporzionali alle loro superfici;* ed invero, seguendo il principio fondamentale della meccanica, poichè la velocità dello stantuffo grande è cento volte più piccola di quella dell'altro stantuffo, conviene

perchè vi sia compensazione od equilibrio, che lo stantuffo grande sopporti un carico cento volte più considerevole.

Se dunque mediante la piccola leva che serve a far andare la pompa esercitiamo sullo stantuffo minore, mentre ei si abbassa, una pressione equivalente a 100 chilogrammi, converrà collocare per ottenere l'equilibrio, un peso di 10,000 chilogrammi sullo stantuffo grande. Non dite che poco v' importa d'ottenere l'equilibrio, perchè essendovi nell'equilibrio completa assenza di moto esso a nulla vi gioverebbe; invece è già molto poter equilibrare 10,000 chilogrammi con la vostra mano. Non vi accorgete che stabilito una volta l'equilibrio, basterà il più lieve sforzo per romperlo e sollevare quell'enorme peso? Quando i due piatti d'una bilancia sono in equilibrio, non basta forse un fuscellino gettato in uno di essi a farlo abbassare ed a sollevare l'altro piatto?

Sopra allo stantuffo maggiore si costruisce di solito un solido castello in legname, ferro o ghisa. Collocando allora sullo stantuffo un sacco ripieno ad esempio di sementi oleose, lo stantuffo innalzandosi comprimerà il sacco contro il castello sovrapposto e lo comprimerà con potenza alle volte di molto superiore ai 10,000 chilogrammi; una compressione tanto energica spremerà l'olio dai semi, lo obbligherà a passare traverso il tessuto del sacco ed a colare in apposito canaletto destinato a riceverlo.

Codeste macchine devono appunto il nome di *torchii* a quest'uso, che è il più frequente cui servono, ma si impiegano pure a sollevare grandissimi pesi; e siccome la loro potenza è enorme, così si ricorre ad esse ogni qualvolta senza complicazioni costose ed imbarazzanti, le leve, i verricelli, le taglie, ecc., sarebbero insufficienti. I torchii rendono perciò importantissimi servizi all'industria.

CAPITOLO VI.

I motori (*continuazione*). — La macchina a vapore.

Abbiam parlato delle forze muscolari, delle cadute d'acqua e dell'impulsione del vento; havvi un quarto motore divenuto ora d'uso generalissimo, e che un secolo fa appena poteva dirsi conosciuto come potenza meccanica. Quest'è il calorico.

Il più delle volte il calorico agisce sulle macchine mediante il vapore, od anzi producendo prima vapore; ciò non pertanto sarebbe erroneo il considerare come un motore il vapore in sè stesso. Un motore è una forza, e questo nome non può esser dato al vapore. Esso non è forza motrice come non lo è l'acqua, e già sappiamo che se l'acqua fa andare le macchine, ciò avviene unicamente in virtù del suo peso, in virtù della forza che attrae tutti i corpi verso il centro della Terra. Volete d'altronde convincervi col fatto che il vapore non è una forza? toglietegli calore, raffreddatelo e vedrete tosto come ei non sarà più atto a generare il menomo movimento.

Il calorico è una forza il cui effetto consiste nel *dilatare* i corpi, vale a dire gonfiarli, allontanando le une dalle altre le particelle onde sono composti, e ciò al punto da permettere alle stesse di rotolare liberamente le une sulle altre, producendo lo stato liquido. L'azione continuata del calorico va ancor più innanzi: fa sì che le molecole si respingano fra loro tendendo sempre ad espandersi, il che produce lo stato gasoso od aeriforme.

In che consiste, che cos'è questa forza? Dobbiam confessare che le forze non ci son note che pei loro effetti. Il calorico è una maniera d'essere e un modo di agire degli

esseri. Ho caldo e riscaldo quanto mi circonda, come sono pesante, pensante, volente, ecc. Possiamo aggiungere soltanto intorno agli effetti del calorico, che la forza che lo produce si sviluppa in certe circostanze, ad esempio dall'attrito, dalle combinazioni chimiche, ecc.

Sapete, è vero, che una combinazione chimica consiste nel fatto sorprendente che due o più corpi messi a contatto scompaiono e risulta invece un corpo affatto nuovo, pesante quanto i due presi assieme. Ne volete un esempio? mettete in un vaso olio e potassa, riscaldate questa mescolanza, e di lì a poco non troverete più nè olio nè potassa, troverete sapone.

La combinazione chimica cui si ricorre più spesso onde ottenere calorico è la *combustione*. Havvi combustione ogni qualvolta un corpo si combina all'*ossigeno*. Questa combinazione può prodursi molto lentamente producendo appena un calore insensibile, il che succede ad esempio quando il ferro al solo contatto dell'aria si *ossida*, ossia si *arrugginisce;* altrevolte tale combinazione è molto rapida e produce non solo calore, ma anche luce. Il gas idrogene ci rischiara per la via e nelle case, solo perchè si combina coll'ossigeno, che è uno degli elementi componenti l'aria. Lo spirito di vino, gli olii, il sego, le essenze, il legno, il carbone, il carbon fossile, ecc., si combinano del pari molto rapidamente coll'ossigeno producendo molto calore.

Abbiam detto che nelle combinazioni i corpi scompaiono e vengono sostituiti da nuovi corpi. Nella combustione vediamo sì il carbone che bruciando scompare, ma, direte, non vediamo nulla che lo sostituisca. Verissimo, perchè il nuovo corpo non si può vedere, il carbone è sostituito da un gas diverso dall'ossigeno dell'aria scomparso egli pure come il carbone. Questo gas che è improprio alla combustione, e che ci asfissierebbe respirandolo, dicesi *acido carbonico*. Queste notizie che possono sembrarvi estranee

al nostro argomento non sono tali; esse vi abbisognano per ben comprendere quanto sia necessario, volendo ottenere calore dalla combustione, lasciar giungere l'aria liberamente nel fornello e facilitare l'uscita al gas acido carbonico che, restando senza sfogo, spegnerebbe il fuoco ben presto.

Le particelle componenti i corpi si attraggono fra loro e tendono a rimanere unite. A quest'attrazione di una specie particolare, a questa forza detta di *coesione*, i corpi devono la loro solidità, la loro forma. Il calorico è nemico della coesione, la combatte, ma non giunge mai a vincerla completamente. Separa bensì le particelle che restavano prima unite in virtù della coesione, ma non riesce ad allontanarle che a determinate distanze le une dalle altre, a distanze che non potranno essere superate causa la coesione, poichè la coesione non cessa d'agire ad onta dell'opposizione fattale dal calore; prova ne sia che grado grado che il calore diminuisce, le particelle ch'esso teneva discoste si ravvicinano per riprendere le loro primitive distanze.

Quanto più grande è il calore, tanto più grande è questo scostamento delle particelle. Il vapore altro non è che acqua le cui particelle sono molto discoste le une dalle altre. Quando il calore ha forza da far bollire l'acqua, le particelle di vapore riempiono uno spazio 1,696 volte più grande di quello che occupavano mentre trovavansi in quello stato di ravvicinamento che costituisce lo stato liquido. Aumentando il calore, aumenta a dismisura lo spazio che si può riempiere con un metro cubo d'acqua convertita in vapore.

La forza di scostamento o d'espansione prodotta dal calore è grandissima. Per farvi ostacolo, per impedire ad esempio al vapore che sorge dall'acqua bollente di occupare uno spazio 1,696 volte più grande di quello dap-

prima occupato dall'acqua d'onde deriva, è necessaria una forza eguale a quella che fa equilibrio alla pressione atmosferica, che sappiamo essere di 10,000 chilogrammi per ciascun metro quadrato. Per convincervene, prendete un cilindro cavo di ferro fuso, chiuso al fondo; riempitelo d'acqua e mettetelo in piedi in mezzo al fuoco. Fate poi entrare nel cilindro uno stantuffo equilibrato mediante contrappesi, in modo che il suo peso possa considerarsi nullo. Fino a che l'acqua non si sarà riscaldata al punto da bollire, il vapore che andrà generandosi, non avrà forza da sollevare lo stantuffo, poichè sulla sua faccia superiore gravita la colonna atmosferica; ma, tosto che l'acqua sarà riscaldata tanto da bollire, il vapore premendo sulla faccia inferiore dello stantuffo più di quanto la colonna atmosferica preme la sua faccia superiore, lo solleverà tosto.

Il primo ad avere un'idea ben netta della potenza del vapore, e della possibilità di trarne partito per mettere le macchine in movimento, fu un francese per nome Papin. Prima di lui Giovanni Branca in Italia, Salomone di Caus in Francia ed il marchese di Worcester in Inghilterra, si occuparono invero dello studio della proprietà espansiva del vapore, ma la scienza che possedevasi ai loro tempi era troppo scarsa, ed essi non potevano indovinare che assai vagamente che il calore potesse diventare un potente agente meccanico. Se ne occuparono come d'una curiosità, non come d'una cosa utile; e gli apparecchi da essi immaginati, o che ad essi si attribuiscono, nulla contengono di quanto costituisce le vere macchine.

Però, se gli apparecchi inventati da Papin erano molto imperfetti, essi contenevano tuttavia il germe di applicazioni industriali che sorsero dopo di lui. Questi apparecchi presentano alcuni particolari di costruzione in uso anche oggi nelle nostre macchine meglio costrutte; il più impor-

tante fra questi è la *valvola di sicurezza*, della quale vogliam farvi parola.

Papin aveva scoperto che il vapore molto caldo ha la proprietà di sciogliere le ossa degli animali, il che permette di estrarne la gelatina, sia per farne brodo, sia per utilizzarla come colla. A tale scopo ei collocava ossa di bue o di montone in una pentola di ferro fuso, e dopo riempiutala a metà d'acqua, la chiudeva ermeticamente e la esponeva al fuoco. Più volte la forza espansiva del vapore sviluppatosi aveva fatta scoppiare la pentola che volava in ischegge con gravissimo pericolo delle persone circostanti. Per mettersi al riparo da sì funesti accidenti, Papin praticò un foro nel coperchio della sua pentola e collocò sul foro un piccolo disco di metallo pesante quanto bastava per essere sollevato dal vapore soltanto quando la di lui forza espansiva giungeva ad un certo grado: il vapore sfuggiva allora per quel foro. Quando una certa parte di esso era già sfuggita a questa guisa dalla pentola, la parte che vi rimaneva aveva naturalmente forza espansiva minore di prima e non era capace di sostenere più oltre il peso di quel disco o valvola che ricadendo chiudeva di bel nuovo l'uscita.

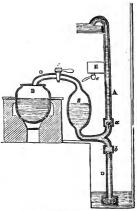
Una lunga serie d'esperienze ci permette in oggi di conoscere quasi esattamente a qual pressione possono resistere le lastre di ferro colle quali si fanno le caldaie delle macchine a vapore. Se queste lastre possono ad esempio resistere alla pressione di 4 atmosfere (vale a dire ad una pressione quadrupla di quella esercitata dall'atmosfera), si può star sicuri che la caldaia non scoppierà, purchè il vapore in essa contenuto non eserciti più dei tre quarti di codesta pressione. Per convincersene, basta praticare una piccola apertura nella parte superiore della caldaia e chiudere tosto quell'apertura con una valvola tanto pesante da non poter essere aperta se non quando il va-

pore è giunto al grado di *tensione* che non si vuol superare.

Diciamo qui di passaggio che la parola *tensione* da noi ora sottolineata, di frequentissimo uso, deriva dal comparare che si fa l'azione del vapore a quella d'una molla *tesa* che preme contro un corpo resistente. Codesto paragone è giusto ed il vocabolo è scelto bene; tuttavia impiegheremo ancora qualche volta l'espressione di forza espansiva del vapore, rammentando però che il vapore per sè stesso non è una forza, e che le proprietà meccaniche ch'esso possiede le deve esclusivamente al calorico.

Poco tempo dopo la pubblicazione delle prime invenzioni di Papin, un capitano della marina inglese, Savery, avendo osservato che il vapore raffreddato riprende la primitiva forma d'acqua, occupando spazio piccolissimo relativamente a quello che prima occupava, ideò con mezzi diversi da quelli impiegati dal fisico francese di trar partito da quest'osservazione onde produrre il vuoto in un tubo, vuoto analogo a quello prodotto nei tubi delle pompe aspiranti, e sollevare così l'acqua a qualche altezza.

In questo primo tentativo di macchina a vapore, che data dal 1696, Savery riscaldava l'acqua contenuta in una caldaia (*B*) (*fig. 28*), dalla cui sommità staccavasi un tubo (*O*) munito di robinetto (*c*). Questo tubo metteva in un recipiente metallico (*S*), dal quale si diramavano due tubi l'uno ascendente (*A*) l'altro discendente (*D*); quest'ultimo pescava nel pozzo od altro serbatoio da cui volevasi estrarre l'acqua. Entrambi questi tubi erano muniti di valvola che si apriva dal basso all'alto. L'acqua riscaldata nella caldaia (*B*) produce vapore che si solleva, e, quando il robinetto (*c*) sia aperto, passa nel recipiente (*S*) per metà ripieno d'acqua. Il vapore mercè la sua potenza elastica preme quest'acqua e la obbliga a cedergli il posto. L'acqua premuta non può scappare pel tubo di-

scendente (*D*), mantenuto chiuso dalla valvola (*b*), che non si apre per la spinta dall'alto al basso, scappa invece pel tubo ascendente (*A*), la cui valvola (*a*) si apre per effetto della spinta che l'acqua esercita sovr' essa dal basso all'alto. L'acqua sale in codesto tubo fino a che trova

Fi.. 28 — Macchina di Savery.

una bocca da cui sgorgare. A condizione però che la pressione esercitata dal vapore sull'acqua del recipiente (*S*) sia maggiore della pressione che sulla stessa esercita la colonna d'acqua contenuta nel tubo ascendente. Ciò con-

tinua fino a che tutta l'acqua del recipiente se n'è andata cedendo il posto al vapore giuntovi dalla caldaia. Chiuso allora il robinetto (*c*), onde impedire l'ulteriore ingresso del vapore, si apre il robinetto (*e*) applicato ad un serbatoio (*E*) contenente acqua fredda. Quest'acqua cadendo sulle pareti del recipiente (*S*) le raffredda, e perciò il vapore contenutovi si raffredda e si *condensa*, vale a dire riprende lo stato liquido. E siccome l'acqua prodottasi con tale condensamento non occupa che piccolissimo spazio, così tutto il resto del recipiente rimane quasi vuoto. In tale stato di cose l'acqua del pozzo essendo meno premuta nel tubo comunicante con lo spazio quasi vuoto di quello che esternamente, sollevasi nel tubo verticale. Spingendo dal sotto in su, apre la valvola (*b*) e, purchè il recipiente (*S*) sia alto meno di 10^{m} sull'acqua del pozzo, giunge nel recipiente e in parte lo riempie. Una volta salita, non può più scendere, impedita com'è dalla valvola. Aprendo ora il robinetto, nuovo vapore entra dalla caldaia nel recipiente e, premendo sull'acqua contenutavi, la obbliga ad aprire la valvola (*a*) ed a salire nel tubo ascendente. Chiuso nuovamente il robinetto comunicante con la caldaia, aprendo il robinetto da cui si versa l'acqua fredda, si otterrà ancora la condensazione del vapore e quindi l'innalzamento di nuova acqua dal pozzo. Alternando dunque la manovra di quei due robinetti si solleva l'acqua del pozzo e la si porta all'altezza che si desidera, per utilizzarla poscia a seconda dei casi.

Questa macchina, in oggi del tutto abbandonata, ebbe a quei tempi esito felicissimo; la si impiegò particolarmente a cavar l'acqua dal fondo delle miniere. Era tuttavia difettosissima; consumava inutilmente una gran quantità di vapore e quindi di combustibile, ed inoltre non serviva ad altro che all'innalzamento dell'acqua; non si prestava perciò che a limitatissime applicazioni. Due operai

di Darmouth, nella Scozia, John Cawley vetraio, e Tommaso Newcomen fabbro, riescirono a trasformarla completamente e ne fecero una macchina propria a tutti gli usi.

Le loro macchine, note col nome di *macchine di Newcomen*, non sono completamente abbandonate neppure al presente, e si vedono ancora funzionare per l'estrazione dell'acqua in alcune miniere in Cornovaglia, regione ricca di miniere di carbon fossile, in Inghilterra.

Le macchine in discorso si compongono principalmente d'una caldaia (*A*) che manda il suo vapore nella parte inferiore d'un cilindro verticale (*F H*) chiuso inferiormente nel cui interno può scorrere uno stantuffo (*H*) (*fig. 29*), munito di robusto gambo. Il vapore entrato nel cilindro solleva lo stantuffo; giunto questo al punto più alto della sua corsa, con un mezzo meccanico, di cui non possiamo qui occuparci, un robinetto (*a*) si chiude ed impedisce che altro vapore affluisca dalla caldaia nel cilindro; vi si fa entrare allora dell'acqua fredda aprendo un robinetto (*b*) che trovasi in comunicazione mediante apposito tubo (*d*) con un recipiente (*G*). Giungendovi in forma di pioggia, quest'acqua condensa rapidamente il vapore contenuto nel cilindro, e questa condensazione, come già si disse, vi produce un vuoto più o meno perfetto.

La pressione atmosferica che si esercita sullo stantuffo e che era stata vinta dall'azione del vapore, non trovando più nulla che le faccia equilibrio, lo spingerebbe in basso tanto rapidamente da mandare in frantumi e lo stantuffo ed il fondo del cilindro. Ad evitare guasto sì grave si collega l'estremità del gambo dello stantuffo all'estremità di un *bilanciere* (*L*) o leva a braccia eguali, l'altra estremità del quale mette in movimento i congegni meccanici destinati a produrre un lavoro utile, come ad esempio, pompe, martelli, mantici, ecc., la cui resistenza oppone ostacolo alla discesa troppo rapida dello stantuffo,

che appena disceso vien di bel nuovo sollevato dal vapore, e così continua alternatamente a salire ed a scendere. Un robinetto che si apre ad ogni discesa di stantuffo permette di sbarazzare il cilindro dall'acqua che vi si produsse per la condensazione e di quella iniettatavi per raffreddarlo.

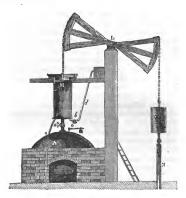



Fig. 29 — Macchina atmosferica di Newcomen.

A ragione queste si dicono anche *macchine atmosferiche,* poichè in realtà non devono al vapore il loro effetto utile, ma sibbene alla pressione atmosferica. L'unica azione meccanica esercitata dal vapore consiste nel sollevamento dello stantuffo; mentre va alzandosi non è possibile eseguire

alcun lavoro utile, poichè tutta la forza di cui il vapore è l'agente viene impiegata a sollevare lo stantuffo. Questa macchina lavora realmente solo quando lo stantuffo, premuto dal peso dell'atmosfera, ridiscende. Ed appunto per questo, per evitare cioè queste alternative, queste interruzioni nel lavoro effettuato, si adoperano due cilindri e due stantuffi, l'uno dei quali scende mentre l'altro sale.

Il grave difetto che questa macchina ha in comune con quella di Savery sta nel necessario raffreddamento del cilindro, nel cui interno e ad ogni colpo di stantuffo conviene, come abbiam detto, iniettare una certa quantità di acqua fredda. Il vapore che penetra poscia nel cilindro, venendo a contatto delle sue interne pareti raffreddate, si raffredda ei pure ed in parte si condensa prima d'aver prodotto il suo effetto; perde adunque la maggior parte della sua potenza, per modo che se ne richiede quantità doppia o tripla di quella che altrimenti basterebbe a sollevare lo stantuffo.

Era serbata ad un semplice operaio, il cui nome è ora meritamente celebre, a James Watt (nato nel 1736, morto nel 1819), che pel suo grande amore al lavoro ed allo studio, per la sua attività, per la sua perseveranza si levò in gran fama, arricchì e divenne il primo fabbricatore di macchine in Inghilterra; era serbata a James Watt la gloria di rimediare al grave difetto dell'eccessivo consumo di combustibile che avrebbe fatto considerare per sempre le macchine a vapore come macchine molto imperfette. Il rimedio, come tutte le invenzioni del genio, fu assai semplice: si condensò il vapore in un vaso o recipiente separato dal cilindro.

A tale scopo Watt aggiunse alla parte inferiore del cilindro di Newcomen un tubo che metteva capo ad un altro cilindro senza stantuffo, chiuso alle due estremità, cui diede il nome di *condensatore*. Questo condensatore venne collocato

in un bacino ripieno d'acqua fredda che veniva rinnovata mano mano che andavasi riscaldando, ed altra acqua fredda veniva iniettata nel condensatore onde agevolarvi il raffreddamento del vapore. Quando lo stantuffo giungeva al basso della sua corsa, la macchina stessa apriva il robinetto che, fino allora rimasto chiuso, aveva impedita la comunicazione fra cilindro e condensatore. Il vapore premuto dallo stantuffo che, per effetto della pressione atmosferica, tendeva a discendere, precipitavasi nel condensatore, ove rapidamente raffreddavasi e si convertiva in acqua.

Watt operò inoltre nella macchina atmosferica molti altri miglioramenti secondarii, che ancora sussistono per la maggior parte nelle nostre macchine moderne. Ne diremo alcuni. Senza ricorrere ad un robinetto da aprirsi e chiudersi onde purgare il condensatore dall'aria e dall'acqua che vi si accumulavano, Watt affidò quest'incarico ad una pompa speciale messa in movimento dalla stessa macchina e che ora è chiamata *pompa ad aria.* L'estremità del bilanciere, cui veniva raccomandato il gambo dello stantuffo, descriveva, come tutti i corpi oscillanti, degli archi di cerchio, mentre il gambo stesso doveva eseguire un semplice movimento rettilineo di va e vieni dall'alto al basso e dal basso all'alto. Ne conseguivano stiramenti ed urti molto dannosi, ai quali Watt pose termine con un ingegnoso apparecchio. È frequente il caso nelle industrie di dover convertire il moto rettilineo di va e vieni d'uno stantuffo in moto rotatorio. Prima di Watt non si raggiungeva l'intento che mediante apparecchi complicatissimi che occasionavano moltissimi attriti; Watt inventò apparecchi semplicissimi, soppresse un gran numero di cause deterioranti che rendevano molto onerosa la manutenzione delle nuove macchine.

Lo scopo principale ch'egli erasi proposto stava nel ricercare grandi economie di combustibile. Lo aveva in

parte raggiunto mercè l'invenzione del condensatore, ma non tardò ad accorgersi che anche rivestendo di legno il cilindro, per mantenergli meglio il calore, ei raffreddavasi tuttavia in modo molto sensibile, e ciò perchè dovendo essere aperto superiormente onde permettere all'aria atmosferica di esercitare la sua pressione sullo stantuffo, quando questo discendeva, l'aria riempiva la capacità superiore del cilindro, sottraendogli gran parte del suo calore.

Watt comprese che per rimediarvi c'era un mezzo soltanto: sopprimere completamente l'azione del peso dell'aria. A tale scopo chiuse completamente la parte superiore del cilindro mediante un disco metallico saldato stabilmente sullo stesso, e praticò in questo disco un foro centrale per dar passaggio al gambo dello stantuffo. Ad impedire poi che il vapore fuggisse nel breve spazio compreso fra il contorno del gambo e gli orli del foro, ideò parecchi mezzi ai quali poscia si sostituì la *scatola stoppata*. Fece comunicare la parte superiore del cilindro, mediante due tubi che vi mettevano capo, l'uno colla caldaia l'altro col condensatore, similmente ai due tubi che già stabilivano analoga comunicazione colla parte inferiore del cilindro.

Con tale disposizione di cose, il vapore che dalla caldaia entrava nella parte inferiore del cilindro premeva per di sotto lo stantuffo e lo sollevava. Salendo, lo stantuffo scacciava nel condensatore quel vapore che poteva trovarsi nella parte superiore del cilindro. Giunto lo stantuffo verso l'alto della sua corsa, il tubo che fino allora aveva lasciato entrare il vapore si chiudeva, ed aprivasi quello che metteva in comunicazione la parte inferiore del cilindro col condensatore. Nel tempo stesso l'effetto contrario succedeva nei robinetti applicati ai due tubi terminanti nella parte superiore del cilindro. Allora il vapore

arrivava sulla parte superiore dello stantuffo, lo forzava a discendere cacciando nel condensatore il vapore che sotto di lui rimaneva. Il raffreddamento produceva nel condensatore un vuoto sensibile e la pompa d'aria espelleva i prodotti della condensazione. Lo stantuffo lavorava adunque tanto nella salita quanto nella discesa, il che come abbiam veduto non succedeva neppure nelle macchine di Newcomen perfezionate.

La macchina a vapore si può dire inventata soltanto da allora, poichè fino allora la vera forza motrice direttamente utilizzata non era il vapore, ma il peso dell'aria. Avevansi è vero macchine atmosferiche, ma non si avevano macchine a vapore. Quelle costrutte da Watt, e che si dissero *macchine a doppio effetto ed a condensazione*, non ricevettero dopo di lui che semplici miglioramenti secondari; queste macchine sono adoperate anche al presente nella marina ed in moltissime industrie.

A questo grand'uomo dobbiam pure la scoperta di ciò che si disse l'*espansione*. Dopo lunga serie d'esperienze ei trovò che il vapore dopo aver fatto salire o scendere lo stantuffo, non ha peranco esausta tutta la sua potenza, e ne cavò la conclusione, che si economizzerebbe mandando in un secondo cilindro il vapore che già aveva servito a far salire o discendere lo stantuffo; in questo secondo cilindro il vapore, con la potenza che gli rimane, può mettere in movimento un secondo stantuffo; o più semplicemente si può impedire l'introduzione di nuovo vapore nel cilindro quando lo stantuffo è giunto alla metà, ai due terzi od ai tre quarti della sua corsa. Il vapore già entrato basta a spingere, mercè la sua espansione, lo stantuffo fino al termine della sua corsa.

Watt non trasse invero da questa felicissima idea tutto il partito possibile, ma quest'idea fu ripresa dopo di lui, e presentemente quasi tutte le buone macchine funzionano

coll'espansione, vale a dire ricevono vapore nel cilindro durante una parte soltanto della corsa dello stantuffo.

Le macchine costrutte col sistema di Watt, mentre sono invero ammirabili, presentano però in alcune circostanze un inconveniente che era stato da lui pure riconosciuto. Occupano cioè molto spazio ed esigono per la condensazione più acqua di quanta spesse volte si può averne a disposizione. Facile sarebbe stato rimediarvi: bastava sopprimere la condensazione e mandare il vapore nell'aria subito dopo che aveva cessato d'agire sullo stantuffo.

Ma a questa guisa si andava incontro ad altro grave inconveniente: il condensatore era quasi vuoto, quindi nulla opponevasi al vapore che vi entrava dopo aver lavorato nel cilindro. All'incontro, lasciando andare il vapore nell'aria, il vapore avrebbe dovuto superare una resistenza, la pressione atmosferica; codesta pressione avrebbe opposto ostacolo al moto dello stantuffo ed avrebbe quindi causato un inutile dispendio di forza.

Ai tempi di Watt non s'impiegava il vapore che a *bassa pressione*, vale a dire a due o tre atmosfere, ossia in uno stato d'espansione capace soltanto di sollevare un peso due o tre volte più considerevole di quello della colonna atmosferica. Se dunque si avesse dovuto vincere la resistenza opposta dal peso dell'atmosfera, si avrebbe sagrificato inutilmente la metà o la terza parte della forza della macchina. Trevithick in Inghilterra, ed Oliviero Ewans in America, concepirono l'ardito pensiero d'impiegare il vapore ad *alta pressione;* a 10 e persino a 12 atmosfere. Dapprincipio si ebbero grandi timori, poichè si credeva che gli scoppii delle caldaie premute tante poderosamente dal vapore sarebbero stati frequentissimi. Non si tardò però a riconoscere che mediante precauzioni convenienti, e adoperando nella fabbricazione delle caldaie lastre di ferro di sufficiente resistenza, il vapore ad alta pres-

sione non presenta maggiori pericoli del vapore a pressioni più basse. Gl'inconvenienti risultanti dalla mancanza di condensazione si trovarono allora diminuiti di molto, poichè condannandosi a vincere la resistenza dell'atmosfera non si sagrificava più la metà od il terzo, ma soltanto il decimo od il dodicesimo della forza disponibile.

In grazia del piccolo spazio che occupano, della poca acqua che richiedono e del loro mite prezzo, le macchine ad alta pressione si impiegano oggi in gran numero ovunque il prezzo del combustibile non sia troppo alto, poichè l'unica censura che ad esse si può muovere è di consumare appunto, in causa di quella perdita del decimo o del dodicesimo della forza ottenuta, una quantità di combustibile più considerevole di quella richiesta dalle macchine di Watt. D'altra parte, senza le macchine ad alta pressione le strade ferrate percorse da vaporiere sarebbero impossibili, poichè è facile comprendere quale imbarazzo recherebbero sulle locomotive gli apparecchi di condensazione ed i serbatoi d'acqua, che ne sono una conseguenza.

CAPITOLO VII.

Ancora delle macchine a vapore.

Abbiamo spiegato quanto più chiaramente ci fu possibile l'azione delle macchine a vapore; ora ne descriveremo le parti principali.

La prima di queste è la caldaia, detta anche *generatore* del vapore. La forma delle caldaie variò molto. Presentemente si adoperano soltanto *caldaie cilindriche* e *caldaie tubulari*.

Le caldaie cilindriche sono lunghi e grossi tubi di robusta lamiera di ferro chiusi alle estremità da calotte della stessa materia, l'una delle quali presenta un'apertura detta *foro d'uomo*, ermeticamente chiusa durante il lavoro. Per quest'apertura un uomo può introdursi nella caldaia quando è necessario pulirla internamente. Alcune volte un sol tubo costituisce la caldaia, altre volte questo tubo giace orizzontalmente sopra altri due tubi di egual lunghezza, ma di diametro minore, chiamati *bollitori*, ai quali è congiunto il primo mediante brevi tubi di comunicazione. La fiamma che parte dal focolaio circola traverso condotti in muratura, prima intorno ai bollitori, poscia intorno al tubo maggiore, la cui parte superiore soltanto non è lambita dalla fiamma e sporge alcun poco superiormente alla muratura. Su questa parte ed all'esterno della caldaia son disposte le valvole di sicurezza e gli altri apparecchi accessori, di cui parleremo fra breve. In alcune officine la caldaia si compone di un gran tubo collocato verticalmente e circondato da muratura, in maniera però che fra questa e la caldaia rimanga uno spazio ristretto nel quale circola la fiamma.

I bollitori furono introdotti allo scopo d'aumentare la superficie esposta all'azione del fuoco; poichè l'esperienza ha provato che la quantità di vapore ottenuta con una quantità data di combustibile trovasi entro a certi limiti proporzionale all'estensione di questa superficie, detta *superficie di riscaldamento.*

Nei bastimenti, e più ancora nelle locomotive, lo spazio disponibile è tanto limitato, che ricorrendo anche ai bollitori sarebbe stato impossibile ottenere la necessaria superficie di riscaldamento. Tuttavia dopo molti tentativi si riescì ad ottenerla coll'invenzione delle caldaie *tubulari,* composte principalmente di un cilindro di lamiera ampio e corto, disposto orizzontalmente. Questo cilindro è chiuso ai due estremi da robuste piastre munite di molti fori rotondi nei quali si fanno passare piccoli tubi di rame che chiudono perfettamente i fori opposti delle due piastre in modo da non lasciare adito alcuno all'acqua, che riempie fino ad altezza determinata, il cilindro traversato da questi tubi.

La fiamma che parte da un focolaio collocato sul davanti del cilindro non ha altro passaggio che traverso i piccoli tubi ch' essa percorre nella loro lunghezza per andare poscia a perdersi in un compartimento speciale o *camera del fumo,* che trovasi alla parte posteriore del cilindro e che comunica col camino. Così adunque, mentre la superficie esterna di quei tubi è a contatto dell'acqua, la superficie interna è a contatto della fiamma costituendo la superficie di riscaldamento della caldaia. E siccome una caldaia tubulare contiene delle centinaia di piccoli tubi, così questa superficie risulta estesissima. Nelle caldaie tubulari la fiamma trovasi circondata d'acqua, nelle caldaie ordinarie all'incontro è l'acqua che circonda la fiamma.

Abbiamo nominato testè il *camino;* diremo ora alcunchè delle funzioni ch' esso adempie e spiegheremo per quale

motivo si assegni grande altezza ai camini in modo da farli sembrare tanti obelischi.

Per qual motivo poi il carbone disposto sul fornello, quando non è per anco acceso, non schiacciasi sotto il peso della colonna d'aria che passando pel camino viene a premerlo? Perchè è sostenuto da una colonna d'aria di egual peso che agisce su di lui per disotto al fornello. Osserviamo ora come andranno le cose dopo acceso il carbone. Per meglio rendersene conto supponiamo che l'interno del camino sia un quadrato del lato di $0^m,50$, o, ciò che torna lo stesso, che la sua sezione sia di un quarto di metro quadrato, e che la sua altezza sia di 30^m. Esso conterrebbe adunque sette metri cubi e mezzo d'aria fredda pesanti complessivamente nove chilogrammi all'incirca. Ammettiamo che quest'aria riscaldandosi pigli un volume dieci volte più considerevole, ovverossia che il suo volume divenga eguale a 75 metri cubi; siccome il camino non può contenerne più di sette e mezzo, così il dippiù ne escirà. Vi rimarrà dunque una piccola quantità d'aria calda, eguale in peso ad un decimo della quantità d'aria fredda che vi era dapprima, vi rimarrà il peso di 900 grammi d'aria. La pressione esercitata sul fornello sarà dunque diminuita di $8^{chil.}100$, mentre quella esercitata sotto al fornello sarà rimasta la stessa. Dunque l'equilibrio vien rotto e la colonna d'aria fredda che giunge dall'esterno, essendo più pesante, si farà avanti, traverserà il fornello attivando la combustione e spingerà dinanzi a sè l'aria calda rimasta nel fornello.

A questo modo la corrente si stabilisce non solo nei camini delle officine, ma ben anco nei caminetti d'appartamento ed in qualunque altro focolaio. Siccome poi, onde consumare il carbone nel modo più vantaggioso, importa molto d'avere una corrente sufficiente, e siccome la forza della corrente dipende dalla quantità d'aria o di

gas riscaldati contenuti nel caminetto, così ogni qualvolta si voglia ottenere molto calore conviene assegnare al camino grandi dimensioni. Ma anche in ciò sonvi dei limiti che non devono essere superati. Se la sezione del camino fosse troppo grande relativamente alla quantità di gas che vi giunge, vi si introdurrebbe aria fredda che raffreddando i gas nuocerebbe alla corrente. D'altra parte, siccome i gas prodotti dalla combustione non devono arrivare ancor molto caldi nel camino, poichè se vi giungessero ancor caldi una parte del calorico svolto dal combustibile andrebbe inutilmente perduta su per la canna del camino, così essi non tardano molto a raffreddarsi sollevandosi. Se il camino s'ergesse al di là del punto in cui questi gas sono quasi alla temperatura dell'aria esterna, questa maggior altezza sarebbe non soltanto inutile, ma dannosa alla corrente, in causa dell'attrito dei gas nelle pareti interne del camino, attrito che ne rallenterebbe il movimento ascensionale e rallenterebbe quindi anche l'arrivo d'altra aria fredda nel fornello. Non varcando questi limiti, è però sempre indispensabile dare la maggior altezza possibile ai camini. Tuttavia i camini alti 100 od anche 120 metri, come se ne vedono in alcune officine, debbonsi considerare come costruzioni poco ragionevoli.

La necessità di passare sotto ai cavalcavia e sotto alle volte delle gallerie rendeva assolutamente impossibile l'uso di camini elevati nelle locomotive. Vi si supplì con un mezzo ingegnoso, consistente nel far passare per entro al breve camino adattato alle locomotive il vapore che sfugge dai cilindri, dopo aver fatto andare gli stantuffi che mettono in movimento le ruote motrici. Questo vapore, che ancora conserva gran forza d'espansione, trascina seco i gas che incontra per via, e farebbe il vuoto in una parte del camino se quei gas non fossero tosto sostituiti da altri che assai rapidamente si formano in seno alla fiamma, resa appunto vivissima mercè l'attiva corrente.

Ed ora ritorniamo alle caldaie, o per meglio dire agli apparecchi di cui le caldaie devono essere sempre provvedute.

La prima cura che deve avere il macchinista si è di non lasciar mai mancar d'acqua la caldaia, poichè la lamiera di ferro componente la caldaia trovandosi da una parte a contatto della fiamma senza essere bagnata dall'altra parte si arroventerebbe, si rammollirebbe e per la pressione del vapore si lacererebbe: uno scoppio diverrebbe inevitabile. A prevenire questo pericolosissimo accidente si introduce nella caldaia un *galleggiante*, piccolo apparecchio composto di un pezzo di pietra sormontato da un gambo passante per un foro praticato nella parte superiore della caldaia. Questo foro si guernisce d'una scatola stoppata onde impedire al vapore di fuggire per esso. L'uso del galleggiante si fonda sul principio di fisica, che un corpo immerso nell'acqua perde tanto del suo peso quanto è il peso dell'acqua di cui occupa il posto. Se dunque la pietra del galleggiante pesa nell'aria 2 chilogrammi, e se il volume della stessa è un millesimo di metro cubo, essa sposterà un litro ovvero un chilogrammo di acqua, e immersa in questo liquido perderà per conseguenza un chilogrammo del proprio peso. Attaccando l'estremità del gambo del galleggiante in capo al braccio d'una leva a braccia eguali, sospendendo un peso d'un chilogrammo all'altro braccio della leva, la pietra fino a tanto che si troverà immersa nell'acqua si manterrà in equilibrio; ma abbassandosi l'acqua si abbasserà anche la pietra, poichè altrimenti non trovandosi più immersa nell'acqua riprenderebbe il suo peso primitivo di due chilogrammi, al quale non farebbe più equilibrio il peso di un chilogrammo sospeso all'altro braccio della leva.

La lunghezza del gambo sporgente fuori dalla caldaia indica adunque esattamente il livello dell'acqua contenu-

tavi. Per maggior precauzione si fece ancor più: pel timore che il macchinista, per negligenza, non faccia attenzione alle indicazioni fornitegli dal galleggiante, si fissò ad un certo punto del gambo una piccola sporgenza corrispondente al livello sotto al quale l'acqua non deve mai discendere. Quando il galleggiante si abbassa sino a questo limite, la sporgenza fissata al gambo apre una valvola da cui sfugge il vapore, che, incontrandosi in un campanello, lo fa vibrare producendo un fischio acutissimo che serve a richiamare all'attenzione il negligente macchinista.

Quando l'acqua si abbassa nella caldaia, il macchinista vi provvede aprendo un tubo che la mette in comunicazione con una pompa alimentare messa in moto dalla stessa macchina, e questa pompa spinge nuova acqua nella caldaia. In questi ultimi tempi la pompa fu sostituita molto vantaggiosamente da un piccolo apparecchio assai ingegnoso, del quale ci spiace non poter qui dare la spiegazione.

Oltre alle valvole di sicurezza, che per ordine governativo devono essere applicate a tutte le caldaie, si adopera per maggior garanzia uno strumento detto *manometro*, il cui ufficio consiste nell'indicare in ogni istante il grado di tensione del vapore nella caldaia. Il manometro si compone di un tubo ricurvo di robusto cristallo contenente mercurio, l'un ramo del tubo comunica colla parte superiore della caldaia, l'altro ramo, chiuso superiormente, trovasi continuamente sotto gli occhi del macchinista. Quanto maggiore è la tensione del vapore nella caldaia, tanto più fortemente esso spinge il mercurio e tende a farlo salire nel ramo esterno. Se questo ramo fosse aperto, il mercurio giungerebbe a notevole altezza, a 7 metri circa qualora la macchina andasse colla pressione di 10 atmosfere, il che come ben si comprende richiederebbe tubi assai lunghi, il cui uso sarebbe impossibile in molte cir-

costanze. Perciò questo ramo del manometro è chiuso superiormente; l'aria contenutavi oppone ostacolo alla salita del mercurio, e preme sovr' esso come una molla; per tal motivo il mercurio si alza nel ramo chiuso molto meno di quanto si alzerebbe se detto ramo fosse aperto; vi giunge tuttavia ad altezza bastante ad indicare esattamente il grado di tensione acquistato dal vapore nella caldaia.

Se questo grado è più alto di quanto convenga, il macchinista rallenta il fuoco, se ciò non basta apre un robinetto e lascia sfuggire dalla caldaia una parte del vapore contenutovi. Negligendo questa cura, la tensione del vapore aumenterebbe ancora e finirebbe col sollevare le valvole di sicurezza, il che non tardando ad essere scoperto dai sorveglianti esporrebbe il macchinista a ben meritata multa, poichè se per una causa qualsiasi la valvola di sicurezza non funzionasse, l'esplosione della caldaia succederebbe di certo.

Fig. 30 — Manometro metallico.

Da qualche tempo è pure in uso un manometro (*fig. 30*) comodissimo composto d'un piccolo e sottile tubo flessibile d'acciaio avvolto a spira. Un capo del tubo, l'esterno, è chiuso; l'altro comunica colla parte superiore della caldaia. Il vapore penetra dunque dalla caldaia nel tubo e colla sua tensione tende a raddrizzarlo, muovendo l'estremo libero del tubo. Trasmettendo opportunamente questo movimento ad un indice che può scorrere sopra un qua-

drante previamente graduato, ed osservando il movimento dell'indice, si può riconoscere dalla maggiore o minore ampiezza di questo movimento, la tensione più o meno grande di cui è dotato il vapore nella caldaia.

Per quanta attenzione faccia il macchinista onde rendere assolutamente regolare l'intensità della fiamma attivata nel focolaio, ei non vi può riescire certamente. Ora la fiamma è molto intensa, ora è debole; varia continuamente; per conseguenza varia continuamente anche la quantità di vapore che si produce nella caldaia. Lasciando liberamente entrare il vapore dalla caldaia nel cilindro della macchina, la velocità dello stantuffo riescirebbe irregolare, il che nuocerebbe certamente al lavoro cui serve la macchina. Importa quindi moltissimo regolare opportunamente il passaggio del vapore nel cilindro. Il meccanico che guida una locomotiva può a suo talento farla andare con velocità più o meno grande, mediante una valvola d'ammissione ch'ei muove con la mano: aprendo più o meno questa valvola entra nel cilindro quantità di vapore più o meno grande. Le macchine fisse regolano da sè stesse il proprio movimento, mercè un ingegnoso apparecchio inventato da Watt.

Quest'apparecchio detto *regolatore* (*fig. 31*) si compone di un'asta verticale di ferro (*K F*) alla cui parte inferiore è saldata una puleggia (*D*) nella gola della quale si accavalca una fune continua che comunicando colla macchina ne riceve il movimento ed obbliga la puleggia, e quindi anche l'asta, a girare intorno a sè stessa. Quest'asta sostiene due palle metalliche (*E E*) fissate alle estremità di due leve piegate a gomito nel punto in cui incontrano l'asse.. Le braccia superiori di queste leve sono congiunte mediante articolazioni a cerniera (*f f*) a due altre leve più corte (*f h*), e queste, pure mediante articolazioni, sono congiunte ad un anello (*F*) che può scorrere liberamente lungo l'asta ver-

ticale. L'anello è congiunto ad una leva *(F H)* mobile intorno al punto fisso *(G)*. L'estremità *(H)* di questa leva porta un gambo o biella *(H V)* articolata ad una manovella *(V)*. Questa manovella apre o chiude un robinetto *(Z)* attraversante il tubo *(L)* che conduce il vapore dalla caldaia nel cilindro. Quando il moto della macchina è molto rapido, l'asta verticale *(K F)*, e quindi anche le due palle metalliche *(E E)*, girano rapidamente; la forza centrifuga le obbliga allora a mettersi in posizione *(I I)* più discosta l'una dall'altra, l'allontanamento delle palle produce necessa-

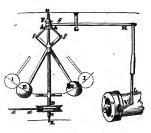



Fig. 31 — Regolatore a forza centrifuga.

riamente l'abbassamento delle leve minori *(h f)*, dell'anello *(F)* e dell'estremità della leva orizzontale ad esso congiunta, e quindi l'altra estremità *(H)* di questa leva si innalza sollevando il gambo *(HL)* e la manovella *(V)*. Quest'ultima innalzandosi chiude parzialmente il robinetto *(Z)* ed impedisce quindi in parte l'ingresso del vapore dalla caldaia nel cilindro. Quando invece il moto della mac-

china si rallenta, si rallenta anche il moto dell'asta: allora le palle animate da scarsa velocità, e quindi da lieve forza centrifuga, si abbassano e producono nelle varie leve un movimento inverso al precedente, che in ultimo produce la completa apertura del robinetto (*Z*); il vapore trovando allora più libera la via affluisce in maggior copia dalla caldaia nel cilindro rendendo più rapidi i moti dello stantuffo e quindi anche il moto della macchina. L'apparecchio ora descritto modera il moto della macchina quando è troppo rapido, lo accelera quando è troppo lento; lo regola meglio di quanto farebbe un apposito sorvegliante.

Abbiam supposto fino ad ora che i tubi d'ammissione e di scarico si aprano e chiudano mediante robinetti; e così andavano infatti le cose nelle macchine a vapore d'una volta: attualmente però i robinetti sono soppressi per sostituir loro i *cassetti*. Tanto i due tubi comunicanti con la caldaia quanto gli altri due comunicanti col condensatore vanno a terminare in quattro fori praticati in linea retta in una piastra di ferro ben levigata. Di faccia a questa piastra se ne dispone un'altra di eguali dimensioni portante anch'essa quattro fori in linea retta ai quali mettono capo altrettanti tubi; due di questi permettono al vapore che arriva dalla caldaia di penetrare nel cilindro, l'uno superiormente, l'altro inferiormente allo stantuffo. Gli altri due, saldati l'uno al fondo superiore, l'altro al fondo inferiore del cilindro, son destinati a condurre, sia negli apparecchi di condensazione sia all'orificio pel quale si disperderà nell'aria, il vapore che ha già funzionato nel cilindro a far muovere lo stantuffo. Fra le due piastre, saldamente congiunte fra loro e chiuse tutto all'ingiro in guisa da racchiudere uno spazio, ne scorre a dolce sfregamento una terza alquanto più lunga, munita di due fori soltanto: a questa si dà propriamente il nome di *cassetto*.

A seconda della posizione che si dà al cassetto, uno dei suoi due fori trovasi ad un tempo in faccia ad uno dei tubi provenienti dalla caldaia e ad uno di quelli che guidano il vapore nel cilindro. Questi due tubi, che in fatto sono continuazione uno dell'altro, trovansi allora aperti; mentre la comunicazione fra gli altri due tubi aventi lo stesso ufficio trovasi intercettata per l'interposizione della parte piena, ossia non forata, del cassetto; così dunque il vapore non può giungere che in una delle due parti del cilindro. L'altro foro del cassetto trovasi allora fra l'apertura d'uno dei due tubi che partono dall'altra porzione di cilindro e l'apertura del tubo che mette al condensatore od all'orificio di scarico. Per tal modo è stabilita la comunicazione fra questi due tubi, mentre è soppressa la comunicazione fra gli altri due tubi aventi consimile destinazione. Il vapore che trovasi nella porzione di cilindro in cui lo stantuffo sta discendendo può escirne e scaricarsi sia nel condensatore sia nell'aria. Facendo quindi avanzare od indietreggiare il cassetto, i tubi chiusi si aprono e gli aperti si chiudono.

Il cassetto e le due piastre fra le quali esso scorre sono indicati le molte volte col nome improprio di *distributori*. Qui non abbiam potuto esporre che il concetto generale che presiede alla costruzione di questa parte tanto delicata delle macchine a vapore. Numerosi miglioramenti vi furono introdotti, ma l'organo principale è tuttora una piastra scorrevole fra due altre. Ma in qual modo si comunica a questa piastra il movimento di va e vieni che essa deve avere affinchè la distribuzione del vapore possa effettuarsi?

Il modo più naturale sarebbe di collegare questa piastra al gambo dello stantuffo, che è pure animato da movimento di va e vieni. Ma in tal guisa non si raggiungerebbe lo scopo. Infatti, come potrebbe lo stantuffo, giunto

al termine della sua corsa dopo aver spinto il cassetto in una certa direzione, imprimergli un movimento in opposta direzione, dal momento ch'esso, lo stantuffo, non può indietreggiare fino a che il cassetto indietreggiando non abbia obbligato il vapore che prima lo premeva in un senso a premerlo invece nell'altro?

Per superare questa difficoltà si collegò indirettamente il cassetto al gambo dello stantuffo, fissando a questo una manovella che, ad ogni doppio viaggio, ossia andata e ritorno dello stantuffo, fa compiere un giro completo ad un volante, sull'asse del quale è impernata una specie particolare di manovella detta *eccentrico.* L'eccentrico congiunto al cassetto mediante un'asta di ferro obbliga il cassetto a compiere un movimento innanzi ed un movimento indietro ad ogni giro completo del volante. Se lo stantuffo giunto al termine della sua corsa, al *punto* che dicesi *morto*, agisse direttamente sul cassetto, come abbiamo indicato or ora, la macchina si fermerebbe, ma il volante non potendosi fermare tutto ad un tratto, nol permette; ei continua a girare, girando fa cambiar di posizione il cassetto ed obbliga così lo stantuffo a retrocedere.

Nelle locomotive non c'è bisogno di volante: le ruote motrici ne fanno le veci; messe una volta in movimento non possono arrestarsi all'improvviso, e perciò obbligano il cassetto non appena ha compiuto un movimento a ricominciare subito dopo il movimento contrario.

Essendoci proposti di fare un libriccino e non più, non possiamo internarci nei particolari relativi alla costruzione delle macchine a vapore. Quanto abbiam detto dovrebbe bastare a darne un'idea. Per lo stesso motivo nulla diremo delle macchine appropriate alle diverse industrie: i molini, le cartiere, le filature, i martelli delle officine ecc., che ricevono il movimento da macchine a vapore. Per quanto a queste si riferisce, dobbiam riman-

dare il lettore ad opere speciali che gli forniranno particolareggiate descrizioni.

Tuttavia, prima di finire, spenderemo ancora qualche parola intorno alla maniera di calcolare la forza delle macchine a vapore. Ecco ad esempio una macchina a condensazione: sappiamo che la superficie del suo stantuffo è di mezzo metro quadrato, che la corsa dello stantuffo è di $0^m,80$, e che esso la compie in 4 secondi. Conosciamo inoltre, dall'ispezione dei manometri, che il vapore trovasi nella caldaia a 5 atmosfere, e che la mescolanza d'aria e di vapore che rimane sempre nel condensatore, per quante precauzioni si prendano, ha una tensione capace di equilibrare un quinto d'atmosfera.

La potenza di codesta macchina, la pressione che il vapore esercita sullo stantuffo della stessa, è dunque eguale alla pressione che verrebbe esercitata da 4 volte e 4 quinti la colonna atmosferica. Ora, essendo la superficie dello stantuffo di mezzo metro quadrato, la colonna atmosferica agirebbe su di lui in modo analogo ad un peso di 5,000 chilogrammi. L'azione del vapore su questa superficie sarà dunque eguale a 5,000 chilogrammi moltiplicati per 4 e 4 quinti, vale a dire sarà di 24,000 chilogrammi. Ma la potenza non è il solo elemento d'una forza. [Per conoscere una forza bisogna pur conoscere la velocità del movimento ch'essa produce. Nel caso nostro questa velocità è quella dello stantuffo, ossia di $0^m,80$ in 4 secondi, ossia di $0^m,20$ al secondo. La forza della macchina risulta adunque pari a quella necessaria a sollevare 24,000 chilogrammi all'altezza di $0^m,20$, o, ciò che vi equivale, 4,800 chilogrammi all'altezza di un metro in un secondo. Dividendo questo numero per 75 si trova la forza della macchina espressa in cavalli-vapore, e quindi nel caso nostro, la macchina risulta della forza di 64 cavalli.

Questa è la forza *teorica* della macchina; però a causa

degli attriti da vincersi, delle perdite di vapore, del raffreddamento ch'esso prova nei tubi e nei cilindri, e per altre cause ancora, la macchina è ben lungi dallo sviluppare tutto l'effetto utile che vi credevate in diritto di aspettarvene. Raramente soltanto l'effetto utile ottenuto dalle macchine a vapore supera la metà della forza spesa. Per calcolare, ponendoci nelle condizioni ordinarie, la forza della macchina di cui ci occupavamo testè, prendendo per base il lavoro utile ch'essa fornisce, non le avremmo attribuita probabilmente che la *forza effettiva* di 30 cavalli. Parlando adunque della forza d'una macchina a vapore, è indispensabile dichiarare se intendete discorrere della sua forza effettiva o della sua forza teorica.

Quanto poi al consumo del combustibile, comprenderete facilmente che deve essere variabilissimo nelle diverse macchine, dipendendo dal loro sistema di costruzione; così le locomotive consumano più delle macchine fisse ad alta pressione, ad espansione e senza condensazione; alla lor volta il consumo è maggiore in queste che non in quelle a condensazione e ad espansione; il consumo dipende poi anche dallo stato di conservazione della macchina, dalla qualità del combustibile, ecc. I limiti ordinarii entro ai quali varia il consumo sono dai 3 ai 7 chilogrammi di carbone per cavallo e per ora.

Prima d'abbandonare le macchine a vapore diamo un cenno intorno alla loro applicazione alla navigazione.

La prima idea relativa all'impiego di queste macchine per mettere in moto i bastimenti appartiene al francese marchese di Jouffroy, che nel 1781, vale a dire quando Watt non aveva peranco messa l'ultima mano agli ultimi lavori che ne immortalarono il nome, fece navigare un battello mediante il vapore sulla Saona dinanzi a Lione. Tentativo grossolano, è vero: pure il primo passo era fatto, il segnale era dato.

Gl'inglesi non tardarono a seguire questo segnale; otto anni dopo, lo scozzese Miller costruiva un battello che dopo alcuni viaggi sulla Clyde si avventurò in alto mare. Questi tentativi però furono successivamente abbandonati fino a che un americano per nome Fulton vi recò nella stessa Parigi non pochi perfezionamenti, che poco compresi dal governo francese ricevettero invece gli incoraggiamenti di quello degli Stati Uniti, incoraggiamenti che permisero all'inventore Fulton di costruire nel 1807 a New-York un vero battello a vapore le cui ruote venivan messe in movimento da una macchina uscita dalle officine di Watt. La navigazione a vapore nata allora crebbe a grandissime proporzioni nel giro di pochi anni, ed attualmente i mari, i fiumi ed i laghi dei due mondi son percorsi in ogni senso da battelli a vapore.

Da qualche tempo una nuova specie di macchine aventi grande analogia nei particolari di costruzione con le macchine a vapore, riceve numerose applicazioni industriali. Son queste le macchine a gas, dette anche *macchine Lenoir* (1).

In luogo di vapore si introduce nel cilindro di queste macchine una mescolanza di aria e gas illuminante: una scintilla elettrica che si fa opportunamente scoccare ora da una parte ora dall'altra dello stantuffo nel bel mezzo della mescolanza, infiamma il gas. Il calore che si sviluppa in tale combustione dilata l'aria racchiusa in quella parte del cilindro, e quest'aria dilatandosi ed aumentando di volume preme sullo stantuffo proprio come farebbe il vapore.

Queste macchine assai semplici, leggiere ed economiche non possono dar luogo ad accidenti e funzionano molto regolarmente.

(1) Il signor Lenoir fece brevettare la sua macchina a gas nel 1860; sei anni prima gl'italiani signori Barsanti e Matteucci aveano già ritirato il brevetto per una macchina a gas, che successivamente perfezionata dagli stessi risulta ora di maggior pregio che la macchina Lenoir.

In quelle di forza superiore ai 10 cavalli la gran copia di gas che si infiamma ad ogni colpo di stantuffo produce tal calore che deteriora e stantuffo e cilindro; tuttavia la nuova invenzione ci sembra importantissima: avevamo le macchine della grande industria, le macchine alla portata soltanto del ricco manifatturiere: mercè l'uso dell'aria dilatata, abbiamo oggi macchine che saranno pel più modesto operaio servitori altrettanto ubbidienti quanto infaticabili. Anche il povero avrà i suoi domestici, non per lusso, ma per aiuto ne' suoi lavori.

Costretto ad abitare un sesto piano, l'operaio non può piantarvi un fornello e stabilirvi una caldaia. E quand' anco ne ottenesse la permissione, quand' anche ei potesse bastare alla spesa richiesta da un' installazione di simil genere, non approfitterebbe della permissione, perchè non tutto il giorno ha bisogno del sussidio della macchina, e tuttavia, onde avere a sua disposizione il vapore nei momenti in cui può abbisognarne, sarebbe costretto a mantenere costantemente acceso il fuoco sotto alla caldaia con danno manifesto. Dovrebbe interrompere ad ogni istante il suo lavoro per alimentare il fuoco, per invigilare le indicazioni del galleggiante e del manometro, per andare ad attingere acqua, ecc., ecc.

La nuova macchina all'incontro può essere ovunque stabilita; non più fuoco, non più caldaie. Funziona e si arresta nell'istante in cui più vi piace; non più spese inutili, poichè si paga soltanto il gas consumato, la cui quantità è in proporzione coi servigi resi. Ed ancora il lato che più ci seduce in queste macchine della forza d'un cavallo, di un mezzo o di un quarto di cavallo, non è quello dei vantaggi economici che presentano. Consideratelo pure, se lo volete, come un paradosso: il lato che maggiormente ci seduce è l'opera moralizzatrice cui possono concorrere. È nostra convinzione che le macchine

in generale, le macchine tanto temute dall'ignoranza, quelle macchine contro le quali cospira la vecchia pratica, sono i veri redentori del proletariato.

Ove risiede la differenza fra un proletario ed un borghese? questi ha agio a studiare; quello, costretto a guadagnarsi il pane giorno per giorno, non potè mai dedicare, da quando abbandonò le scuole elementari (dato pure che le abbia frequentate), un solo istante alla coltura dell' intelligenza. Non pretendiamo che l'operaio abbandoni il lavoro per seguire i corsi delle scuole superiori per assistere alle sedute degli Istituti; no, ma vorremmo che, giunto in età matura, potesse almeno non dimenticare quanto apprese da fanciullo. Ma può farlo, condannato come è ai più faticosi lavori?

L'ebanista che medita sulla forma più conveniente ch'ei dovrà assegnare ad un mobile, che ne calcola le proporzioni, che ne disegna gli ornamenti, pensa, riflette, ragiona. Ei sa di essere ben più d'uno strumento, di una macchina; si sente uomo, è superbo di questo titolo, arrossirebbe disonorandolo con un'azione vergognosa. Ma può dirsi altrettanto dell'infelice che sta al suo fianco piallando una tavola e che continuerà a piallar tavole sino al termine de'suoi giorni?

Grazie ai progressi della meccanica, non si avrà più bisogno d'operai per piallar tavole; non si terranno occupati da mattina a sera a fare le teste agli spilli; non si vedranno più uomini attaccati come bestie da soma ai pesanti battelli, o condannati a far girare tutto il dì una manovella come gli antichi schiavi facevano girare la macina per schiacciare il grano di cui nutrivansi i loro padroni. Ciò che le macchine possono fare tanto bene quanto l'uomo, e talvolta meglio di lui, lo facciano pure; e, riscattato col loro mezzo dalla degradazione cui fatalmente conduce l'automatismo, l'operaio che non dovrà più

eseguire altri lavori se non che quelli che richiedono intelligenza, e che perciò appunto la sviluppano, arriverà così a meglio comprendere i proprii diritti ed i proprii doveri.

Alcune centinaia d'infelici copiavano macchinalmente i rari manoscritti che a stento venivano loro affidati dagli eruditi; lavoravano macchinalmente; venne Guttemberg: le macchine sostituirono quei meschini, e centinaia di migliaia di tipografi, legatori, fabbricatori di carta, ecc., trovarono un mezzo per impiegare ad un tempo il braccio ed il pensiero. Dicesi che dall'invenzione delle ferrovie il numero dei carrettieri e quello dei palafrenieri andò diminuendo; può darsi, ma quante migliaia d'individui trovarono occupazione in grazia appunto delle strade ferrate! e pur tacendo del resto, quale non fu l'incremento delle officine meccaniche in cui centinaia d'operai preparano le rotaie, i vagoni, le locomotive!

Ma, prescindendo anche dagli incontrastabili vantaggi materiali prodotti dall'invenzione della stampa e della macchina a vapore, quali e quanti vantaggi morali non ne risultarono, qual poderoso impulso non diedero al progresso sociale?

È certo dal canto nostro, che, se scrivendo questo libriccino, non avessimo avuto in vista altro che un mezzo per insegnare agli sfaccendati perchè il molino giri od il pallone si innalzi, avremmo lasciata ad altri la cura di scriverlo. Ma se, per quanto ingrato sia il compito che ci siamo imposti, vi abbiam lavorato con amore, ciò è perchè nei progressi della meccanica, nella sostituzione delle forze fisiche alle forze puramente muscolari, intravediamo uno dei più potenti mezzi d'emancipazione morale a vantaggio delle classi laboriose.

FINE.

INDICE

PARTE PRIMA

Principii fondamentali della Meccanica.

PARTE SECONDA

Applicazioni pratiche della Meccanica.

SOCI PROMOTORI

DELLA BIBLIOTECA UTILE

Quinto Elenco.

Caponago Vincenzo — Milano.
Castelli-Sormani Ismenia — Milano.
Testa Benedetto — Milano.
Borsani Pasquale — Milano.
Salis rag. Ulisse — Milano.
Campioni ing. Carlo — Milano.
Menghini Enrico — Milano.
Castelli avv. Pompeo — Milano.
Loggia Insubria — Milano.
Besana Agostino — Milano.
Bernheim Emilia — Milano.
Gilli Luigi — Milano.
Guzzi Carlo — Milano.
Bruni dott. Gaspare — Milano.
Barni Gaetano — Milano.
Dobelin Giuseppe — Milano.
Ferrario Luigi, libraio — Milano.
Spinelli Semplicio — Milano.
Delfinoni avv. G. — Milano.
Ferrenghi cav. Achille — Milano.
Ganz, direttore del Collegio Calchi-Taeggi — Milano.
Gamberini dott. Carlo — Castel Bolognese.
Ardorino Gio. — Finale Marina.
Croce di Tomaso — Genova.
Gaggiero Stefano — Genova.
Alvigini Paolo — Genova.
ignardi Eugenio — Urbino.
incenzi Carlo — Modena.
Marenesi dott. Ercole — Massa Carrara.
Wagner Carlo — Nola.
Galeotti dott. Carlo — Firenze.
Bolla Giovanni — Palermo.
Luciano Paolo — Portacomaro.
Odorici Federico — Parma.
Guarneri dott. Giuseppe — Rovato.
Mezlo Tomaso — Siracusa.
Nalesso Luigi — Sesto Cremonese.
Oxilia Agostino di Andrea — Savona.
Monasteri Pietro — Scicli.
Dalmazzo avv. Cesare — Torino.
Pacciani dott. Enrico — Volterra.
Bedarida Aronne — Vercelli.
Berizzi Adele — Bergamo.
Garagnani Gaetano — Bologna.
Marchetti Annibale — Candia (Lomellina).
Rossi rag. Francesco — Cagliari.
Giustiniani conte Gerolamo — Padova.
Franzini ing. Carlo — Corteolona.
Rambaldi Giacomo — Porto Maurizio.
Girelli dott. Leopoldo — Ternate.
Foroni Giovanni — Fiorenzuola.
Rossi ing. Antonio — Pallanza.
Zamorani Enrichetta — Ferrara.
Fioruzzi-Agostino — Piacenza.
Ruffini Vincenzo — Correggio.
Galeotti — Taranto.
Cabianca nob. Jacopo — Vicenza.
Pasini Lodovico, prof. onor. dell'Univ. di Napoli — Vicenza.
Lodi dott. Emanuele — Vicenza.
Perazzo dott. Giacomo — Vicenza.
Galmarana conte Gaetano cav. dep. prov. — Vicenza.
Siletti Beniamino — Clusone.
De Gubernatis E., vice console d'Italia — Susa d'Africa.
Bagnasco bar. Giuseppe Clemente — Palermo.
Sanquirico Antonio, prof. al R. Liceo Cicognini — Prato.
Pastorini ing. Guido — Acqui.
Rizzoni Enrico — Ferrara.

PREZZO DEL PRESENTE VOLUME

Una Lira.

Volumi pubblicati della Biblioteca Utile:

1. COSE UTILI E POCO NOTE, libro pei giovani e pei vecchi, di *John Timbs*. (Meraviglie dei cieli. — La terra, la sua superficie e il suo interno. — L'atmosfera. — Vista e suono. — Scoperte geografiche. — Vita e morte. — Regno animale. — Alberi e piante). Seconda edizione italiana sulla 8.a inglese di 80,000 esemplari . . . . *It. L.* 1. —

2 e 3. LE GRANDI INVENZIONI E SCOPERTE antiche e moderne nelle Scienze, nell'Industria e nelle Arti; opera compilata da *B. Besso*. (La stampa — La stereotipia — L'incisione — La litografia — La carta — La bussola — La polvere da cannone — Il termometro — Gli areostati — Nadar e la sua invenzione — I pozzi modenesi od artesiani — Il vetro — La porcellana e le stoviglie — I cannocchiali — Il telescopio — Un mondo in una goccia d'acqua. — La fotografia — Lo stereoscopio — Il telaio Jaquard — Dei vari mezzi d'illuminazione — Gli orologi — L'elettricità — Lo macchino a vapore — I ponti sospesi). Un bel volume di 336 pagine con 138 incisioni. Seconda edizione . . . . » 3. —

4 e 5. LA STORIA DI UN BOCCONE DI PANE, *lettere ad una ragazzina sulla vita dell'uomo e degli animali*, per *Giovanni Macé*. Opera adottata dalla Commissione universitaria dei libri di premio — *Terza edizione* italiana sulla decima francese, autorizzata dall'autore . . . . » 2. —

6 e 7. ESCURSIONE NEL CIELO, *descrizione pittoresca dei fenomeni celesti* di *Paolo Lioy*, aggiuntavi la Storia cronologica dell'Astronomia e delle Scienze affini con una spiegazione dei vocaboli scientifici e schiarimenti. Con varie incisioni intercalate nel testo, e una carta della luna appositamente incisa. Seconda ediz. » 2. —

8. PENSIERI SULL'EDUCAZIONE, opera inedita di *Nicolò Tommaseo* . . . . » 1. 50

9, 10, 11 e 12. ANNUARIO SCIENTIFICO ED INDUSTRIALE. *Rivista annuale delle Scienze di osservazione e delle loro applicazioni in Italia ed all'estero* con esposizione dei lavori nazionali di statistica e storia patria, compilato da *F. Grispigni*, e *L. Trevellini*, con prefazione del prof. *Michele Lessona*. — Un grosso volume di circa 600 pagine, con parecchie incisioni . . . . » 4. —

13 e 14. LE TERRE E LE ACQUE DELL'ITALIA, *trattatello di geografia fisica*, del prof. comm. *Gerolamo Boccardo*. Con la carta geografica d'Italia, e la carta di Sicilia, e una carta geologica a colori, oltre a 14 incisioni intercalate nel testo » 2. —

15. CONVERSAZIONI SCIENTIFICHE, del prof. *Michele Lessona*. (Introduzione — I deserti — Le oasi — I kabili — Le caverne — I vulcani — I tisici in montagna — Gli innesti animali — La carne di cavallo — La fosforescenza — Gli uccelli di Sardegna — Le piogge di rospi — La peste — L'estro — I neri — Vittorio Jaquemont — Ugo Falconer — Antonio Alessandrini) . . . . » 1. —

16. IN FERROVIA, *cinque racconti inglesi*. (La capanna nera — Elisabetta Sirani — Lo scultore di Bruges — Un episodio della vita — L'ultimo dei Ruthvens) » 1. —

17 e 18. CHI SI AIUTA DIO L'AIUTA, ovvero *Storia degli uomini che dal nulla seppero innalzarsi ai più alti gradi in tutti i rami dell'umana attività*, di *Samuele Smiles*, tradotto dall'inglese da *G. Strafforello*, con note . . . . » 2. —

19. I POPOLI ANTICHI E MODERNI, *nomenclatura e cenni storici preparatorii allo studio delle vicende nazionali*, opera compilata dal professore *Ercole Luigi Marenesi* . . . . » 1. —

20, 21 e 22. STORIA GENERALE DELLA STORIA, di *Gabriele Rosa* . . . . . » 4. —

23. ELEMENTI DI MECCANICA, esposti popolarmente da *L. Brothier* . . . . . » 1. —

24. ELEMENTI DI CHIMICA, esposti popolarmente da *Giorgio Fownes*, coll'aggiunta di un Saggio delle applicazioni della chimica alla agricoltura . . . . . . » 1. —